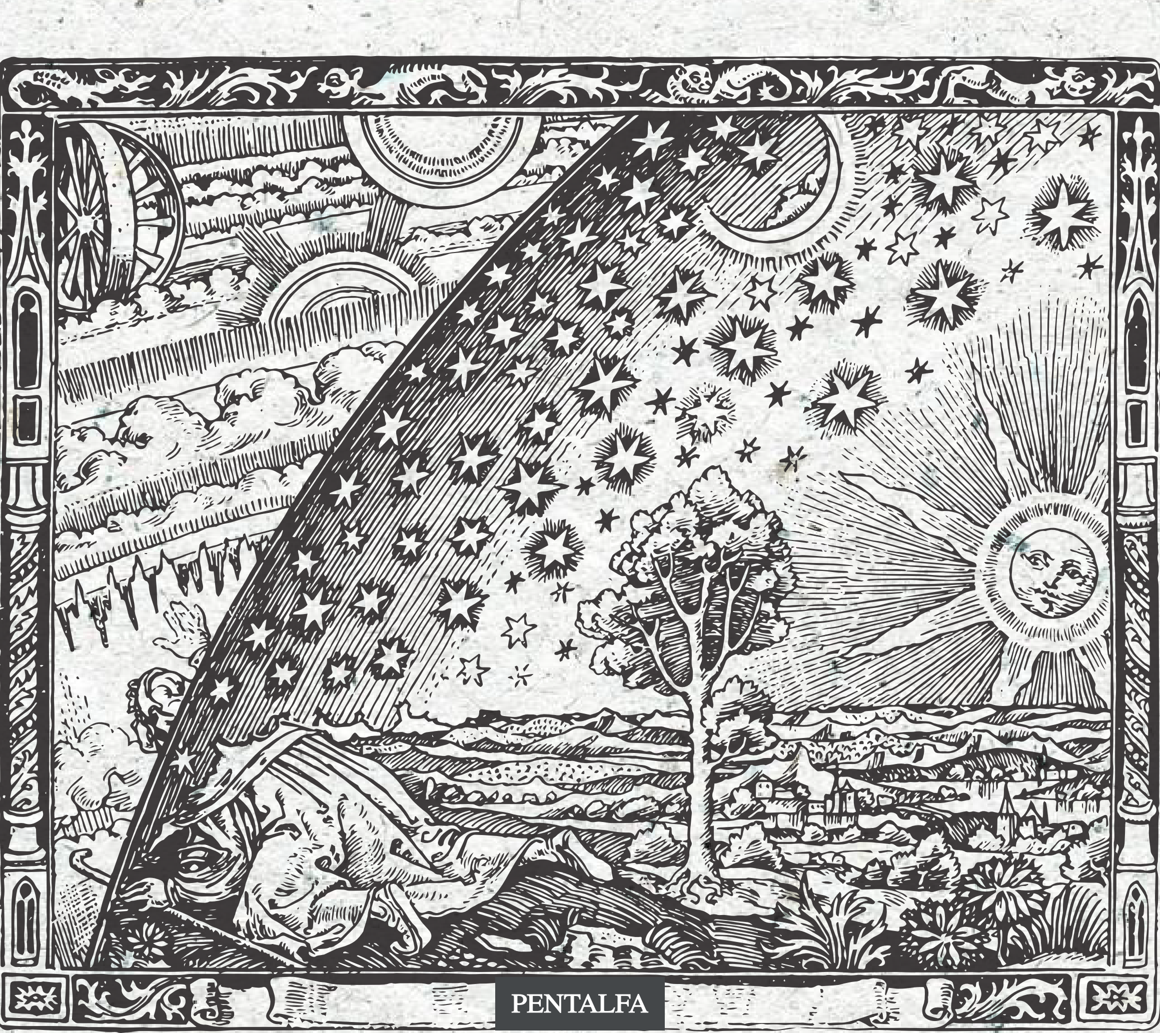
Filosofía de la Cosmología

Hombres, teoremas y leyes naturales

Carlos M. Madrid Casado



COLECCIÓN EL BASILISCO

Filosofía de la Cosmología

Hombres, teoremas y leyes naturales

Apartado 360 / 33080 Oviedo (España)
Tel [34] 985 985 386
http://www.helicon.es
Diseño y composición: Piérides C&S
Edición preparada por: Meletea CJR
ISBN: 84-7848-599-4 -digital- (Pentalfa Ediciones)
ISBN: 84-7848-600-7 -vegetal- (Pentalfa Ediciones)
Depósito Legal: AS 01047-2018

Carlos M. Madrid Casado

Filosofía de la Cosmología

hombres, teoremas y leyes naturales



Pentalfa Ediciones
Oviedo 2018

CARLOS M. MADRID CASADO (español nacido en Madrid, 1980) es licenciado en Matemáticas y doctor en Filosofía por la Universidad Complutense de Madrid. Funcionario del Estado que ejerce como profesor de Matemáticas de Bachillerato. Ha sido profesor de Estadística en la Universidad Complutense y actualmente es investigador asociado de la Fundación Gustavo Bueno. Ha participado en congresos nacionales e internacionales, pronunciando conferencias en distintas universidades y en el Museo del Prado. Entre sus últimas publicaciones destacan los libros *Laplace. La mecánica celeste* o *Fisher. La inferencia estadística* (ambos publicados por RBA).

En cierto modo cabría decir que filosofar no es pensar en Kant, sino en Newton a través de Kant o de Einstein.

GUSTAVO BUENO

Cuando hay algo que no anda bien en vuestra epistemología, es que hay algo que no anda bien en vuestra ontología.

A. N. WHITEHEAD

Para Gustavo Bueno,
a quien me enorgullezco de llamar maestro,
in memoriam.
Y para Miguel Ángel Castro,
amigo espinosiano donde los haya.

Preámbulo
Ciencia y Cosmos

Corría el año de 1888 cuando Camille Flammarion publicó la famosa ilustración que abre este libro en su obra *L'Atmosphère: Météorologie Populaire* editada en París. Este enigmático grabado presenta, según reza la leyenda que lo acompaña, a un misionero medieval que ha logrado alcanzar y rebasar el punto en que el Cielo y la Tierra se encuentran. Aunque bastantes autores posteriores adjudicaron un origen renacentista a la ilustración, a día de hoy parece fuera de duda que fue producto de la imaginación de Flammarion (inspirado, quizá, en Arquitas de Tarento), quien, aparte de ser un destacado astrónomo que contribuyó a popularizar su disciplina, fue un bibliófilo aficionado al espiritismo y la hipnosis.

Esta imagen posee la virtud de exponer en toda su crudeza el embrollo filosófico en torno al cual gira este opúsculo, y que no es otro que el binomio «Ciencia y Cosmos». En efecto, la imagen en cuestión puede interpretarse, en dos sentidos, como paradigma del cosmólogo y su quehacer. Un primer sentido sería que el cosmólogo es capaz, como el personaje de la estampa, de superar el nivel de los fenómenos y remontarse desde las apariencias falaces hasta el nivel de las esencias, descubriendo el funcionamiento de los Cielos, el engranaje oculto del Universo, su origen y evolución. El otro sentido estribaría en que la cosmología como ciencia surge precisamente con la fractura del casquete de estrellas fijas.

En origen, el término griego *kósmos*, que significa orden u ornamento, se aplicaba a la cara (así, hablamos de la *cosmética*), un ejército o, en general, una ciudad. Este significado pervivió en el término latino *mundus*, ya que lo inmundo era lo sucio, aquello que tenía que estar fuera del mundo. Lo más interesante es que el término *Cosmos* no llega a referir a todo lo que los hombres observamos hasta Anaximandro, el primer hacedor de un mapamundi, que «ordenó» todas las cosas visibles en una esfera terrestre y otra celeste. Con la geometría, es decir, con la primera ciencia, nació precisamente el Cosmos. Un Cosmos que fue sucesivamente «reordenado» por Ptolomeo o Copérnico, aunque la tan celebrada revolución copernicana queda en una tormenta en un vaso de agua en comparación con la revolución que operaron la astronomía y la astrofísica en el puesto de la Tierra en el Cosmos ya en el siglo XX, cuando el casquete de estrellas fijas se rompió definitivamente saltando en pedazos. Es, entonces, cuando se alzó la cosmología científica.

A día de hoy se digiere acríticamente todo aquello que viene envuelto en la aureola de la física teórica y, en especial, de la cosmología, la reina de las ciencias. Sin embargo, cuando los cosmólogos contemporáneos explican sus teorías, rebasan en muchas ocasiones el plano de los conceptos científicos y comienzan a usar ideas filosóficas, que sobrepasan su campo de especialización, porque la realidad no se agota en su parcela particular de trabajo. Sin saberlo, dejan de hacer ciencia para comenzar a filosofar. La visión científica del mundo que reclaman, aunque adornada de aparato matemático o terminología precisa, no es sino un sucedáneo de filosofía, donde unos mitos han sido sustituidos por otros igual de metafísicos, las creencias religiosas por la creencia en la Teoría del Todo o en el Multiverso, por ejemplo.

Esta filosofía espontánea de los científicos hace necesaria una filosofía comprendida como saber de segundo grado, que se nutra de los saberes de primer grado, de los saberes científicos y técnicos de nuestro presente, pero que sea crítica con ellos, es decir, que no se limite a colorear las afirmaciones que hacen los cosmólogos, sino que proceda a clasificarlas sistemáticamente, mostrando los compromisos ontológicos y gnoseológicos que ocultan. No deja de ser paradójico que se diferencie entre ciencias duras (las ciencias físico-matemáticas) y ciencias blandas (las ciencias humanas) cuando, por ejemplo,

la cosmología resulta ser mucho más especulativa que la historia; por cuanto, con una convicción en ocasiones desbocada, aspira a explicarnos el origen, la evolución y el destino del Cosmos a partir de unas pocas observaciones indirectas.

Un recorrido ontológico por la cuestión titular «Ciencia y Cosmos» mostraría cómo las tres ideas de la metafísica tradicional (el Ego, el Mundo y, en su caso, sea para afirmarlo o negarlo, Dios) aparecen involucradas en ella. Pero las páginas que siguen optan por un recorrido gnoseológico (aunque la gnoseología no es sino la continuación de la ontología por otros medios, y viceversa). En lugar de la combinatoria Ego-Mundo-Dios, la cuestión se plantea por medio de la combinatoria Materia-Forma, a través de la cual es posible recuperar la combinatoria epistemológica Sujeto-Objeto. Por el camino, como es natural, saldrán a relucir múltiples tópicos de la filosofía y la metodología actuales de la ciencia.

El principal escollo a salvar es que el análisis en profundidad del estatuto gnoseológico de la cosmología no es independiente de la idea de Ciencia que se sostenga. Cuando se aborda un tema como el del binomio «Ciencia y Cosmos», antes de responder a preguntas como cuál es el cometido de la Ciencia en el conocimiento del Cosmos, es imprescindible acotar estas ideas para no recaer en la metafísica. Hay muchas ideas de Ciencia, como hay muchas ideas de Cosmos. Un planteamiento gnoseológico pide empezar clasificando las ideas de Ciencia y luego, posteriormente, en función de ellas, las ideas de Cosmos o de lo que es la cosmología (un planteamiento ontológico procedería, en cambio, al revés).

Por ello, el presente opúsculo cuenta con dos partes bien diferenciadas. En una primera parte, dedicada a la filosofía general de la ciencia, se estudian qué ideas de Ciencia están accesibles en el presente. En nuestro caso, la idea de Ciencia por la que tomaremos partido no será otra que la del materialismo filosófico elaborado por Gustavo Bueno y las sucesivas oleadas de su escuela. Así, daremos algunas pinceladas para mostrar cómo se aplica la teoría del cierre categorial –la teoría de la ciencia propia del materialismo filosófico– a las matemáticas (los «teoremas» del título) y a la física (las «leyes naturales»). A nuestro entender, la novedad de estas coordenadas filosóficas radica no sólo en superar el teoreticismo de la mayoría de filósofos de la ciencia,

subrayando el papel de los aparatos e instrumentos (algo que la teoría del cierre comparte con los filósofos cercanos al nuevo experimentalismo y, en especial, con la última corriente de historiadores culturales de la ciencia), sino sobre todo en regresar desde la gnoseología a la ontología, no rehusando a confrontar los contenidos de la ciencia moderna con las ideas desprendidas de la tradición filosófica (Todo, Parte, Verdad, Identidad, Causa, Hombre, &c.).

La segunda parte del opúsculo, dedicada a la filosofía especial de la ciencia, se centra en la cosmología, examinando con detalle su génesis y estructura. Tras realizar un bosquejo histórico del desarrollo de la cosmología, de Einstein al *Big Bang*, nos detendremos en explicar los graves problemas científicos y filosóficos que la cosmología tiene abiertos (inflación, materia y energía oscuras, &c.). El opúsculo se cierra, finalmente, extrayendo una serie de conclusiones que afectan a lo que podríamos llamar el mito del Cosmos. Pero espacio y tiempo habrá para poner las cartas boca arriba.

Parte I
Del estrato científico al estrato filosófico

Capítulo 1
Filosofía(s) de la Ciencia

1. A mediados de los años 60, Gustavo Bueno se interesó por la vida en el laboratorio. Quería estudiar la ciencia de cerca y se coló dentro de algunos laboratorios físico-químicos para hacerse una idea de qué es la ciencia y qué hacen los científicos. Cual antropólogo que investigara otra cultura, los científicos que manipulaban complejos de enzimas se convirtieron en los nativos sometidos a estudio. Nosotros y ellos. Enseguida se dio cuenta de que la ciencia comprendía un *saber hacer*, sin el cual no habría observación, medición, experimentación o cálculo. Los científicos no sólo formulaban teorías o hipótesis de que deducir predicciones. Dedicaban la mayor parte del tiempo a experimentar, construir y revisar modelos, manejar aparatos, diseñar artefactos y accionar máquinas. Los científicos eran, para Bueno, sujetos operatorios que hacían cosas con cosas (incluso plantear leyes consistía en una práctica escrita). La ciencia procedía por operaciones quirúrgicas (manuales), antes que por operaciones intelectuales (mentales). La ciencia, comprobó Bueno, reificaba el conocimiento, porque los científicos precisaban de materiales –referenciales fisicalistas– con que operar. En el laboratorio, que es el lugar de la investigación científica, los científicos buscaban más intervenir que representar la realidad. Eran más prácticos que teóricos. La ciencia experimental exigía, como dijera el Canciller Bacon, la «tortura de la naturaleza» manejando múltiples instrumentos. Las ciencias no provenían de la filosofía

sino de las técnicas. La intrincación entre ciencias y tecnologías era, desde luego, insoslayable.

La idea de ciencia de Gustavo Bueno debe mucho a este trabajo de campo dentro del laboratorio. Su teoría de la ciencia quedó más marcada por la presencia en la fábrica en donde se hace ciencia que por la lectura del legado del Círculo de Viena. Éstas y otras constataciones orientaron su filosofía de la ciencia hacia direcciones muy distintas a las de los filósofos e historiadores de la ciencia de moda, entonces y hoy. Bueno está tan lejos de los Carnap y los Popper como de los Kuhn y los Feyerabend. Éste es su encanto. Bastantes años antes de que Ian Hacking o Bruno Latour pisaran un laboratorio, Gustavo Bueno ya había llegado a una concepción constructivista de signo materialista de la ciencia.

La teoría de la ciencia de Gustavo Bueno se conoce como «teoría del cierre categorial» y consiste, en esencia, como va dicho, en un constructivismo materialista. La teoría del cierre categorial surgió hace casi cincuenta años y, desde aquel tiempo, ha venido siendo aplicada con éxito por diversos especialistas a varias ciencias (lógica, química, biología, geología, geografía, psicología, etología...).[1] Nuestra meta en esta primera parte del opúsculo no es otra que ensayar una filosofía materialista de la ciencia y, especialmente, aplicar la teoría del cierre categorial a la física y las matemáticas, ya que la cosmología –cuya radiografía realizaremos en la segunda parte– vive del maridaje entre física y matemáticas. Ante todo, intentaremos que las páginas que vienen a continuación, que pasan de la filosofía de la física a la filosofía de las matemáticas, para volver de nuevo a la filosofía de la física, no produzcan tortícolis en el cuello del lector. Pero, por decirlo telegráficamente, no es posible analizar en serio el estado de la cosmología sin plantearse cuál es el papel que las matemáticas juegan en la física teórica. La irrazonable efectividad de la matemática será uno de los interrogantes que vertebren nuestra exposición.

---

1 Cf. Bueno (1979a, 1979b, 1982), Alvargonzález (1996), Insua (2005), Álvarez Muñoz (2004), Suárez Ardura (2014), Fuentes Ortega (1992), Pérez Álvarez (2011) y Ongay (2011) para la aplicación de la teoría del cierre a la lógica, la química, la biología, la geología, la geografía, la psicología y la etología, respectivamente, entre otras aplicaciones. En lo que atañe a las matemáticas, la física, las técnicas y las tecnologías puede verse: Bueno (2000), Velarde (1992), Madrid Casado (2008a y 2009a), Vicente Burguillo (2015), Huerga (1999), Vélez (2012), Camprubí (2017) o Martín Jiménez (2018).

2. Ahora bien, ¿por qué no probamos a analizar la cosmología desde una perspectiva neutra, desde un conjunto vacío de premisas filosóficas? Porque esta tarea se antoja imposible o, cuando menos, se arriesga a ser arrastrada por las opiniones en boga de los cosmólogos o las convenciones de la comunidad científica, es decir, por otra suerte de filosofía, por la filosofía espontánea de los científicos. Sólo disponiendo de un sistema de coordenadas claro y distinto es posible asumir una plataforma desde la cual analizar el caudal cosmológico que corre bajo sus arcadas.

En esta parte del libro, titulada *Del estrato científico al estrato filosófico*, partiremos de las ciencias en marcha y, dándolas por presupuestas, regresaremos a la filosofía de la ciencia, buscando las ideas filosóficas que se desprenden de los problemas, métodos y conceptos físico-matemáticos. Inmediatamente, repararemos en que no hay una única filosofía de la ciencia sino múltiples, cada una con una concepción muy diferente de la naturaleza y la función de la física o del pensar y el hacer matemático. Es un hecho. No es algo opinable. A causa de esta pluralidad, se hará necesario elaborar una taxonomía, de acuerdo a algún criterio, en la que estén casi todas las que son.

Pero, ¿por qué tomaremos partido por la teoría del cierre y no por otra teoría de la ciencia como puedan ser las de Bas van Fraassen, Ronald Giere o Philip Kitcher? La respuesta a esta pregunta tiene que ser necesariamente dialéctica. En la segunda parte del libro, titulada *Del estrato filosófico al estrato científico*, progresaremos desde esta teoría de la ciencia, persiguiendo confrontarla con la cosmología. Y la mayor o menor potencia de una teoría de la ciencia no se mide por el número de adhesiones que concita, sino por la capacidad para analizar una ciencia dada. La teoría del cierre será puesta a prueba en el momento de su confrontación con la cosmología, puesto que no se utilizará como una mera herramienta sino como un instrumento crítico, que pide tomar partido en determinadas cuestiones frente a los cosmólogos y a posiciones filosóficas alternativas.

Capítulo 2
Una clasificación de filosofías de la física y de las matemáticas

1. Es costumbre anclar el inicio histórico de las reflexiones en torno a la ciencia allá por el primer tercio del siglo XX, cuando se formó el Círculo de Viena. Sin embargo, la curiosidad por la naturaleza del conocimiento científico no es nueva. Es bimilenaria. Ha atravesado Academias, Liceos, Jardines, Pórticos, Escuelas y Facultades. Lo que ha ido cambiando ha sido la ciencia que se toma en cada caso como parámetro del análisis (la geometría, la teología, la mecánica, &c.). La elección, por ejemplo, de la astronomía nos devuelve a una disputa bimilenaria escondida tras ella. Nos referimos al debate realismo-instrumentalismo. Esta polémica remonta su origen al *problema de los planetas* de Platón («¿qué movimientos hay que asumir para salvar el movimiento aparente de los planetas?»), que marcó los inicios de la ciencia astronómica y escindió, desde entonces, a los astrónomos en realistas (Aristóteles, Copérnico, Kepler, Galileo, Newton...) e instrumentalistas (Platón, Hiparco, Ptolomeo, Osiander, Bellarmino...). Con el advenimiento de la física moderna –teoría de la relatividad y mecánica cuántica– esta polémica se ha recrudecido, y es que acaso no sea sino otro episodio de la archiconocida disputa idealismo-materialismo que permea la historia de la filosofía.

A comienzos del siglo XXI, el debate actual en filosofía de la ciencia se plantea en términos del conflicto entre realismo e instrumentalismo. Tanto el realismo científico como el instrumentalismo científico

se nos presentan, en principio, como dos familias de concepciones de la ciencia bien perfiladas pero antagónicas. Comencemos echando un vistazo a las definiciones de *realismo* y de *antirrealismo* que propone Hacking (1996, 39):

> El *realismo científico* dice que las entidades, los estados y los procesos descritos por teorías correctas realmente existen. [...] Aun cuando nuestras ciencias no puedan considerarse totalmente correctas, el realista sostiene que nos aproximamos a la verdad. Nuestro objetivo es el descubrimiento de la constitución interna de las cosas y el conocimiento de lo que habita los más distantes confines del Universo.
>
> El *antirrealismo* nos dice lo opuesto: [...] Las teorías son adecuadas o útiles o admisibles o aplicables, pero no importa qué tanto admiremos los triunfos especulativos y tecnológicos de las ciencias naturales, no deberíamos considerar verdaderas ni siquiera sus teorías más reveladoras.

Podemos, además, complementar el *antirrealismo* con la siguiente tesis genuinamente *instrumentalista*: de lo que se trata es de resolver problemas, y las diversas teorías abstractas son como otros tantos instrumentos de los que echamos mano con gran libertad, en función del problema que se nos presente. No deja de ser singular, como ha investigado Rivadulla (2015, 148), que el término *instrumentalismo* lo introdujera, al otro lado del océano, el pragmatista John Dewey, aunque su popularización se deba a un portavoz del realismo científico, a Karl Popper.

Seguramente, ambas definiciones adolecen de cierta vaguedad, pero nos valen para empezar a trabajar. En primer lugar, observamos que el instrumentalismo parece venir dado por la omisión de ciertas tesis realistas –ya sea porque se ponen en entredicho o porque, directamente, se descartan–. Y, en segundo lugar, notamos que en el realismo se conjugan una serie de tesis de diversa estirpe *ontológica* y *gnoseológica*. Sin perjuicio de su indisociabilidad, unas tesis son ontológicas (por ejemplo, la tesis de que los términos, las funciones y las relaciones descritos por teorías científicas *realmente* existen) y otras son gnoseológicas (por ejemplo, la tesis de que la ciencia es el medio óptimo para conocer *verdaderamente* el mundo). Se hace necesaria una clasificación por separado de las mismas. Teniendo en cuenta la distinción hecha, clasificaremos las tesis realistas (por oposición a las instrumentalistas) en dos grandes grupos. Por un lado, las de rango

ontológico. Por otro lado, las de rango gnoseológico. Las tablas –cuyas matrices clasificadoras están inspiradas en Diéguez (1998, cap. 3) y Rivadulla (2015, cap. 5)– que ofrecemos a continuación pretenden acogerse a estos criterios:

Tesis ontológicas	
Realismo de entidades (R_e) La mayoría de las entidades (teóricas y observacionales) de la mayoría de las ciencias existen.	***Instrumentalismo de entidades (I_e)*** Las entidades científicas (en especial, las teóricas) sólo son ficciones eficaces de existencia bastante dudosa.
Realismo de teorías (R_t) Los procesos, descritos por teorías científicas, que acontecen a tales entidades son, con excepciones, reales.	***Instrumentalismo de teorías (I_t)*** Los procesos que describen las teorías científicas sólo son instrumentos para la predicción de fenómenos.
Realismo progresivo (R_p) El progreso científico es un hecho, con la evolución de la ciencia se incorporan procesos y/o entidades reales.	***Instrumentalismo progresivo (I_p)*** El progreso científico, entendido como acumulación de procesos y/o entidades reales, no es un hecho.

Tesis gnoseológicas	
Realismo adecuacionista: Las teorías científicas son verdaderas o falsas en función de su adecuación (correspondencia, isomorfismo, similitud, analogía...) con la realidad. ***Realismo no adecuacionista:*** Las teorías científicas son verdaderas o falsas en función de otros criterios de verdad (verdad como construcción de identidad sintética...).	***Instrumentalismo pragmatista:*** Las teorías no son verdaderas o falsas sino exitosas o no exitosas. ***Instrumentalismo coherentista:*** Las teorías no son verdaderas o falsas sino coherentes o incoherentes entre sí. ***Instrumentalismo relativista:*** Elegimos entre teorías científicas alternativas condicionados por nuestro contexto sociocultural y no en razón de su verdad, éxito o coherencia.

Tablas 1 y 2

Vemos, por un lado, que entre las tesis ontológicas realistas e instrumentalistas median relaciones de oposición muy claras, es decir, si φ es una tesis ontológica realista entonces ¬φ es una tesis ontológica instrumentalista, a saber: $\neg R_e \leftrightarrow I_e$; $\neg R_t \leftrightarrow I_t$; $\neg R_p \leftrightarrow I_p$. Mientras que, por contra, este nítido antagonismo parece diluirse entre las tesis

gnoseológicas realistas y las tesis gnoseológicas instrumentalistas; en efecto: el *realismo adecuacionista* no sólo puede ser impugnado desde posiciones *instrumentalistas* (sean *pragmatistas*, *coherentistas* o *relativistas*) sino, incluso, desde un *realismo no adecuacionista*.

Por último, es interesante comprobar cómo entre las diferentes tesis ontológicas realistas median ciertas relaciones de consecuencia lógica:

$$R_p \rightarrow R_t \qquad (1)$$
$$R_t \rightarrow R_e \qquad (2)$$

Para justificar *(1)* basta darse cuenta de que si se asume que el progreso científico es una realidad (*realismo progresivo*), entonces hay que aceptar que ya a día de hoy nuestras teorías científicas describen correctamente algunos procesos del mundo (*realismo de teorías*). Y para justificar *(2)* basta tener en cuenta que si nuestras teorías científicas describen correctamente ciertos procesos que acaecen en el mundo (*realismo de teorías*), entonces gran parte de las entidades que involucran no pueden carecer de referente (*realismo de entidades*). Finalmente, por transitividad en *(1)* y *(2)*, deducimos trivialmente que:

$$R_p \rightarrow R_e \qquad (3)$$

Esta presentación de la disputa realismo *versus* instrumentalismo puede parecer un tanto escolástica, pero nos va a resultar muy útil en cuanto fija un sistema de referencia desde el que poder analizar las coordenadas de partida de cada filósofo, historiador, sociólogo o cosmólogo en el plano de la teoría de la ciencia. Unos son realistas, otros son instrumentalistas.

2. El inconveniente de esta clasificación, basada en el debate realismo-instrumentalismo o realismo-antirrealismo, es que en el fondo es de raigambre epistemológica. En efecto, se funda en la distinción Sujeto-Objeto y tiende a reducir la teoría de la ciencia a teoría del conocimiento, a pesar de que el conocimiento humano es más amplio que el conocimiento científico y de que la ciencia, o las ciencias en general, en cuanto instituciones, no se reducen únicamente a conocimiento. En consecuencia, sin perjuicio de los puntos de intersección, se trataría más bien de elaborar una clasificación estrictamente gno-

seológica, fundada en la distinción Materia-Forma. Y es que en las ciencias hay componentes –como, por ejemplo, un astrolabio o un sextante– que no cabe encajar dentro del dualismo realismo-instrumentalismo. En este preciso sentido puede afirmarse que una clasificación gnoseológica es menos lisológica que una clasificación epistemológica, por cuanto busca atenerse a las morfologías concretas que aparecen dentro de cada ciencia.

Si tomamos como punto de partida el *factum* de que las ciencias positivas están dadas en el presente, la pregunta gnoseológica fundamental («¿Qué es la Ciencia?») no puede entenderse como la búsqueda de la esencia eterna de ciencia sino como la búsqueda de por qué una determinada ciencia (la física, las matemáticas, &c.) logra un cuerpo científico propio que la diferencia del resto de ciencias o disciplinas. En otras palabras, supuesta la *materia* de cada ciencia, qué papel desempeña la *forma* de cada ciencia en la constitución de su unidad (interna) y de su independencia (externa), con relación a las demás ciencias. Al instante mismo de hacernos esta pregunta surge la pregunta gemela que interroga por el significado de la *verdad científica* en relación con el nexo de unión entre la *materia* y la *forma* científicas, ya sea para atribuirle un valor positivo («la ciencia es el conjunto de proposiciones verdaderas sobre el mundo») o negativo («la ciencia es una mera herramienta para manejarnos con el mundo prediciendo hechos nuevos»). Así pues, *materia* y *forma* forjarán el entramado de nuestra clasificación gnoseológica de filosofías de la ciencia. No en vano, apuntaba Michael Friedman (1991, 26), «la tarea de la filosofía del siglo XX es desarrollar una versión de la distinción entre forma y contenido, que sea adecuadamente sensible a los desarrollos de la física y las matemáticas modernas».

Para diseñar esta clasificación nos serviremos de un artificio lógico bastante expresivo: consideraremos Materia (M) y Forma (F) como dos variables independientes a las que puede dárseles un cierto peso relativo entre 0 –ningún peso– y 1 –todo el peso– según el valor que se adjudique a la materia (observaciones, mediciones, experimentos, efectos...) y a la forma (hipótesis, leyes, modelos, teorías...) en la física. Siguiendo esta estrategia, se nos dibujan cuatro alternativas límite: (M,F) = (1,1), (1,0), (0,1) ó (0,0). Hay, por tanto, cuatro familias básicas de respuestas a la pregunta «¿Qué es la Ciencia?» o,

más en particular, «¿Qué es la física?». Estas cuatro familias básicas de filosofías de la física quedan expuestas a través de esta clasificación cuyo motor es la toma en consideración de las relaciones entre la materia (lo empírico) y la forma (lo teórico):

(1) *Adecuacionismo*, caracterizado por el par (1,1) (es decir, materia y forma pesan lo mismo), que recoge aquellas concepciones de la física que hacen descansar la verdad científica en la adecuación o ajuste entre datos y teorías;

(2) *Descripcionismo*, caracterizado por el par (1,0) (es decir, la materia pesa más que la forma), que reúne aquellas concepciones que consideran la física como descripción de los hechos del mundo, concediendo un papel subsidiario a las teorías;

(3) *Teoreticismo*, caracterizado por el par (0,1) (es decir, la forma pesa más que la materia), que engloba aquellas concepciones que consideran la física como un proceso de construcción de teorías, con relativa independencia de los hechos;

(4) *Circularismo*, caracterizado por el par (0,0) (materia y forma pesan, relativamente, menos de lo que parece), que designa aquellas concepciones que relajan la propia distinción tajante entre materia y forma, y mantienen que la relación entre lo práctico y lo teórico es circular (no de reducción, como en el descripcionismo –sólo importa la materia– y el teoreticismo –sólo importa la forma–, ni de yuxtaposición, como en el adecuacionismo).

A su vez, cada una de estas familias de filosofías de la física puede ponerse en correspondencia, más o menos sólida, con una filosofía de las matemáticas y, por tanto, con una respuesta al enigma: «¿Por qué las matemáticas funcionan cuando la física las aplica al mundo real?».

La estrategia metacientífica a seguir es bien conocida: considerar de nuevo el par de conceptos conjugados Materia/Forma (M/F). Cada filosofía de las matemáticas aparecerá ligada a una peculiar comprensión de la materia y la forma matemáticas. Al contrario de lo que sucede en física (donde M es la *materia no matematizada* –pero, quizá, *matematizable*– y F, la *forma matemática*), ahora, M suele ser interpretado como la *materia matemática* –signos, dibujos u objetos–y F

como el *sujeto matematizante* –los matemáticos humanos, las computadoras o las máquinas de Turing–. Esta inversión no resulta extraña si atendemos a que tal cambio de significado también ocurre con el término *modelo*: el físico llama modelo a la serie de ecuaciones que representan la estructura (empírica) de investigación y, por contra, el matemático llama modelo a la estructura (semántica) que ejemplifica, o satisface, los axiomas (sintácticos) de estudio.

Desde el momento en que consideramos los signos, los dibujos, el papel, la tiza, la pizarra, las reglas, los compases, los modelos de sólidos platónicos o arquimedianos, las calculadoras, los computadores, las revistas y los libros como *materiales* de las matemáticas, surge la duda sobre cómo quedan organizados, *conformados*. Estos contenidos, muchos de ellos –como los ordenadores– producto de la industria humana, son parte del cuerpo de las ciencias matemáticas, y sólo –como dice Bueno (1992, 101)– la continuada presión de la antigua concepción metafísica (que sustancializa los símbolos y los pensamientos, y que sigue viva en la filosofía analítica) puede hacer creer que la matemática se ha replegado al lenguaje (a los libros, incluso a la mente) y concluir que subsistiría incluso si el mundo real desapareciera.

Dependiendo del peso –entre 0 (ningún peso) y 1 (todo el peso)– que se asigne a M y F en matemáticas, se nos dibujan cuatro alternativas límite de fundamentación de la matemática, a saber:

(1) Teorías caracterizadas por el par (1,1), que sostienen que, en matemáticas, materia y forma pesan lo mismo, y que se da una suerte de *yuxtaposición* o *adecuación* entre objetos matemáticos (M) y sujetos matemáticos (F), ya sea porque se postule que los entes de la matemática existen independientemente de sus menciones y de nuestras mentes (*platonismo*) o porque se diga que dichos entes matemáticos son reducibles a entes lógicos, siendo las entidades abstractas de la lógica realmente existentes al constituir, en feliz expresión, las leyes de las leyes de la Naturaleza (*logicismo*).

(2) Teorías caracterizadas por el par (1,0), que defienden que el ser y la exactitud de las matemáticas están en el papel escrito (por ello Peso(M)=1 y, sin embargo, Peso(F)=0). Es el *formalismo*: la matemática no es sino un juego de notaciones comprendido en los márgenes del folio y carente de significado.

(3) Teorías caracterizadas por el par (0,1), que mantienen que la matemática yace en el intelecto humano (por ello Peso(F)=1 y Peso(M)=0). Frente al platonismo-logicismo, que defiende que las verdades matemáticas se descubren, el *intuicionismo* defiende que éstas son, en realidad, inventadas: es la mente humana la que crea, por vía de la intuición (espacial o temporal), los universales matemáticos.

(4) Teorías caracterizadas por el par (0,0). Esta última alternativa, definida por (0,0), corresponde al *materialismo formalista* de Gustavo Bueno, que niega la hipóstasis conjunta de M y de F (por ello Peso(M)=Peso(F)=0), por cuanto se da cuenta de que M y F aparecen intrincados dialécticamente: F *fabrica* M pero M *se segrega de* F y, a su vez, puede actuar como F de otra M –es el caso de los ordenadores: de construcciones matemáticas han pasado a ser matemáticos artificiales–, y así *ad infinitum*... Lakatos lo expresó bellamente en *Pruebas y refutaciones*: «La actividad matemática es actividad humana. Pero la actividad matemática produce matemáticas. Las matemáticas, ese producto de la actividad humana, se enajenan de la actividad humana que las ha estado produciendo. Se vuelven un organismo viviente en crecimiento que adquiere cierta autonomía de la actividad que lo produjo» (1994, 169). Desde el materialismo formalista, no hay división «real» entre la forma matemática y la materia matemática, porque ambas están concatenadas y codeterminadas como resultado de las operaciones mentales y, sobre todo, manuales de los matemáticos.

La tabla que ofrecemos se hace eco de éstos y otros rasgos que explicaremos a continuación. De momento, la principal conclusión es que no hay –empero– una sino múltiples teorías de la ciencia, entre las que es preciso –guste o no– optar, y esto tendrá serias consecuencias durante el donoso escrutinio de la cosmología.

M	F	Filosofía de la Física	Filosofía de la Matemática	Toma de partido
1	1	ADECUACIONISMO	Platonismo – Logicismo	REALISMO
1	0	DESCRIPCIONISMO	Formalismo	INSTRUMENTALISMO
0	1	TEORETICISMO	Intuicionismo	INSTRUMENTALISMO
0	0	CIRCULARISMO	Materialismo Formalista	REALISMO

Tabla 3

Capítulo 3
Adecuacionismo: pintores y monos platónicos

Las filosofías «adecuacionistas» de la física constituyen el bagaje tradicional de teorías de la ciencia. El filósofo «adecuacionista» de la física reivindica la antigua alegoría del científico como *pintor*. Esta imagen pervive desde los tiempos de Galileo o Sydenham: si para Galileo el científico natural había de *representar* los triángulos o círculos inscritos en el Libro de la Naturaleza, para Sydenham el médico debía –a la manera del botánico que pintaba las especies vegetales– *pintar* las «especies morbosas» mediante la observación clínica. El adecuacionismo comprende la física como representación del mundo y, en consecuencia, concibe la verdad científica como una suerte de «adecuación» (correspondencia, isomorfismo, similitud, analogía, &c.) entre las proposiciones o los modelos de la física y los fenómenos de la realidad. Desde esta concepción, la función del físico es conocer el mundo, representándolo o pintándolo, cual «mono de imitación». Pero un mono o primate que se muestra platónico en su concepción de los objetos y las estructuras matemáticas que se emplean en física.

3.1 Platonismo y Logicismo

1. El platonismo es, cronológicamente, la filosofía originaria de las matemáticas. Con más de dos mil años a su espalda, todavía hoy goza

de buena salud, y hay quien dice que la mayoría de los matemáticos son platónicos los días laborables, mientras faenan entre teoremas, proposiciones y corolarios, y que sólo se esconden bajo las faldas del formalismo los fines de semana y fiestas de guardar, cuando abandonan sus trabajos y toman café con los filósofos. Otros, incluso, dicen que el platonismo es la religión del 99% de los matemáticos, pero que se trata de una fe oculta ejercitada en privado (Davis & Hersh: 1982, 247).

Platónicos han sido Platón, Cantor, Gödel, Hardy, Penrose, Alain Connes... entre otros grandes matemáticos. Pero, curiosamente, el primer *platónico* no fue Platón, sino Pitágoras. Pitágoras creía ciegamente que todo es número. El Universo era un Cosmos ordenado numéricamente (nosotros hemos ligado el uso pionero del término *Cosmos* con Anaximandro, pero otros autores lo hacen con Pitágoras). La doctrina orientalista de Pitágoras influiría notablemente en Platón, que en el *Timeo* consagró la ocurrencia pitagórica de que el orden de las cosas proviene de la acción de los Números, combinada con la de las Ideas. En la metafísica platónica, el mundo empírico posee una estructura matemática porque el demiurgo al crearlo (no de la nada, como en el cristianismo, sino a partir de una materia prima eterna) se inspiró en modelos geométricos. Para Platón y sus continuadores en la Academia, los entes matemáticos están dotados de existencia real y son autosubsistentes, como las ideas universales. Tanto el concepto de triángulo como la idea de caballo existen por sí mismos, independientemente de sus instancias y de nuestras mentes.

Los neoplatónicos, con San Agustín a la cabeza, colocarían las Ideas y los Números en el Omnisciente. En *La Ciudad de Dios*, San Agustín aseveraría que la totalidad infinita de los números existía en acto en el intelecto divino, pues ¿quién sería tan necio para afirmar que Dios detiene su cuenta en un cierto número por grande que sea? Estamos ante el germen de la doctrina escolástica *realista* a propósito de los *universales*. Platón inauguró la visión *realista radical*, tan criticada en la Edad Media por Guillermo de Occam. Aristóteles, *realista moderado*, siempre matizó que los universales poseen existencia mas no autosubsistencia, sólo existen en las cosas. Desde entonces, múltiples matemáticos han defendido contra viento y marea que los objetos matemáticos con que trabajan existen *realmente*, como las ideas platónicas.

El préstamo del término «platonismo» del campo filosófico al campo matemático quedó sellado en una conferencia que la mano derecha de David Hilbert, Paul Bernays, impartió en junio de 1934 (Ferreirós: 1999, 446). Bernays quería bautizar con un nombre sugerente el modo de razonar de las matemáticas modernas, en que los objetos de la estructura no se construyen sino que se toman como *dados*. Los matemáticos platónicos no creen que sus resultados sean meras elucubraciones mentales; creen que están descubriendo verdades que están *ahí*, independientemente de ellos. Las verdades matemáticas, como el Teorema de Pitágoras, serían absolutas y estarían dotadas de una existencia platónica. Por ejemplo, para Cantor, la realidad de los números finitos y transfinitos era mucho mayor que la realidad del mundo sensorial, ya que los números existían en forma de ideas eternas en el intelecto divino, igual que dijera San Agustín mil quinientos años antes. Por su parte, Gödel iba todavía más lejos y tomaba los conjuntos matemáticos como objetos tan reales como los cuerpos físicos. Andado el tiempo, el matemático puro G. H. Hardy (1967, 122-124) escribiría elocuentemente en *Apología de un matemático*:

> Entiendo por realidad física el mundo material, el mundo del día y la noche, de los terremotos y los eclipses, el mundo que la física intenta describir. [...] Pero, para mí, y supongo que para la mayoría de matemáticos, hay otra realidad, que llamaré "realidad matemática". [...] Creo que la realidad matemática está fuera de nosotros, que nuestra función es descubrirla u *observarla*, y que los teoremas que demostramos, y que describimos grandilocuentemente como nuestras "creaciones", son simplemente nuestras notas de observación.

Hoy día, Roger Penrose (2006, 186) cree que existe alguna realidad «profunda» en las ideas matemáticas y llega a escribir sin rubor:

> No oculto mis fuertes simpatías por el punto de vista platónico de que la verdad matemática es absoluta, externa y eterna, y no se basa en criterios hechos por el hombre; y que los objetos matemáticos tienen una existencia intemporal por sí mismos, independiente de la sociedad humana o de objetos físicos particulares.

Por último, como ejemplos de platonismos más refinados, podemos centrar nuestra atención en el platonismo de compromiso de Quine o en el platonismo naturalizado de Maddy. Para Quine, la «indispensa-

bilidad» es el mejor argumento para defender el realismo en matemáticas. Como nuestras mejores teorías físicas están comprometidas hasta la médula con la contribución tanto de entidades teóricas (electrones, fotones...) como de entes abstractos (números, funciones...), y creemos en la realidad de las primeras, estamos obligados a creer también en la realidad de los segundos, ya que no hay distinción entre matemática y física (tesis quineana del holismo y de la no distinción analítico-sintético). Empleando las palabras de Putnam (1979, 74): «no es posible ser realista respecto a la teoría física y nominalista respecto a la teoría matemática». Lo contrario sería, al decir de Quine, una deshonestidad intelectual. No en vano, un físico actual tiene un tercio de físico y dos tercios de matemático. Recientemente, Penelope Maddy (1990) ha retomado el argumento de la indispensabilidad como pilar de su realismo conjuntista. La teoría de conjuntos estudiaría los conjuntos del mismo modo que los astrónomos estudian los astros y las estrellas. Alternativamente, Maddy (1997) aventura que cuando observamos una docena de huevos, no observamos simplemente cada uno de los huevos por separado sino que también percibimos neuronalmente el conjunto que constituyen.

2. Los grandes intentos de fundamentación de la matemática –logicismo, formalismo, intuicionismo– surgieron cuando los matemáticos pasaron a considerar conjuntos y clases cada vez más abstractos durante la segunda mitad del siglo XIX. Lo que llevó a cuestionar no sólo la ontología matemática (definiciones ¿clásicas o axiomáticas?) sino también la metodología (demostraciones ¿constructivas o existenciales?). La corriente logicista, que arrancó con Frege, sostenía que la lógica era anterior a la matemática y, por tanto, los conceptos matemáticos debían ser reducidos a conceptos lógicos. Bertrand Russell recogió el testigo de Frege y, con el concurso imprescindible de Whitehead, intentó sacar la matemática de la chistera de la lógica. Calcular era deducir y todo resultado aritmético derivaba de una ley lógica, aunque el proyecto de logificación de los teoremas matemáticos se topó con numerosas dificultades técnicas.

Algunos matemáticos, como Hans Hahn, saludaron los *Principia mathematica* como la liberación definitiva de la matemática del platonismo, pero Russell sólo había aparcado el realismo de clases a favor del realismo de las funciones proposicionales. Su desenfrenada

ontología se resumía en que los universales (las funciones proposicionales) eran exactamente tan reales como las mesas y las sillas. A pesar de que el lógico y filósofo británico describió la evolución de su pensamiento como un sucesivo alejamiento del platonismo o pitagorismo que asumió a temprana edad, era –al igual que Frege– un realista matemático porque previamente era un realista lógico. Las verdades matemáticas delimitaban un reino único, independiente por completo de las cosas que vemos y tocamos, y en el que las leyes universales y eternas de la lógica eran al edificio monolítico de la matemática como las leyes de la estructura a la arquitectura.

Hoy día encontramos un logicismo renovado en Crispin Wright y George Boolos (aunque otros enfoques fundacionales, como el auspiciado por Solomon Feferman, también reclaman la necesidad del análisis lógico para clarificar el hacer matemático). Estos dos autores reconocen que el programa logicista de fundamentación de las matemáticas no pudo saltar la barrera de las paradojas ni la barrera que supone que las matemáticas no pueden expresarse completamente en una lógica de primer orden. Por ello ponen su empeño en traducir las matemáticas a una lógica de segundo orden adecuada; pero la lógica de segundo orden no es más que una matemática de conjuntos con piel de cordero.

3. En matemáticas, el talón de Aquiles del realismo de cuño platónico o logicista es que *sobrepuebla* los cielos. Funciona bastante bien cuando se trata de defender que realmente existen entes matemáticos sencillos. Por ejemplo, el triángulo en general, el cuadrado en general o, quizás también, los números naturales. Pero se viene abajo en cuanto abandonamos los objetos de la matemática antigua y pasamos a considerar los artificiosos objetos de la matemática contemporánea. Sinceramente, ¿hasta qué punto es admisible que son auténticamente *reales* todos los conjuntos, las funciones y las complejas estructuras abstractas que comportan las demostraciones de teoremas como el Último Teorema de Fermat? ¿Son, por así decir, *Obra de Dios* u *obra de los hombres*? Sostener que pre-existen en un mundo aparte resulta muy misterioso. Más natural parece concebirlos como constructos, a veces *ad hoc* pero no arbitrarios, dotados de validez y, a menudo, elegancia.

3.2 De Galileo y Einstein al realismo estructural

1. Numerosos físicos han abrazado la filosofía adecuacionista de la física. El más famoso es, sin duda, Galileo. A nosotros, el adecuacionismo galileano nos suena muy natural, acostumbrados como estamos a escucharlo repetido en boca de muchos científicos cuando filosofan espontáneamente sobre su labor científica. A Galileo, empero, no podría parecerle así. La explicación que ofreció para dar razón del pronto éxito que obtuvo la nueva ciencia consistió en concebir la naturaleza como un Universo matemático, cuya materia matematizable necesariamente se adecuaba a la forma matematizada empleada por el científico natural. A este respecto, es francamente iluminador el célebre pasaje que escribe en *El Ensayador*, de 1623:

> La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que continuamente está abierto ante nuestros ojos, quiero decir el Universo, pero no se puede entender si antes no se aprende a comprender su lengua y a conocer los caracteres en que está escrito. Está escrito en lengua matemática y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin cuya ayuda es humanamente imposible entender nada, sin éstas es como girar vanamente por un oscuro laberinto.

De igual manera a como los pitagóricos habían explicado la dependencia entre la tesitura del sonido y la longitud de la cuerda vibrante pellizcada, Galileo pensaba que el lenguaje matemático de la física representaba los secretos de la naturaleza. Recordando a Galileo y los pitagóricos, Sir James Jeans afirmaría tres siglos después que las representaciones matemáticas se adecuaban a la realidad porque Dios era matemático. Físicos de todos los tiempos no han dejado de expresar su asombro ante la adecuación o ajuste entre la materia física y las formas matemáticas.

Por las reflexiones que hiló acerca de la milagrosa efectividad de las matemáticas en física, Albert Einstein constituye un obligado caso de estudio. La evolución del pensamiento de Einstein se articula en dos grandes etapas. Primero, una etapa fenomenista, de marcado sesgo machiano, que alberga al Einstein ocupado en la elaboración de la teoría de la relatividad. Segundo, una etapa falsacionista, podríamos decir prepopperiana, que atraviesa al Einstein preocupado por los fundamentos de la teoría cuántica. Y en esta última etapa hemos de

detenernos, porque el «teoreticismo einsteiniano» oculta un singular «adecuacionismo realista» de la cuerda de Galileo.

Las ideas del Einstein maduro precipitan en dos amplios grupos. Por una parte, el *credo epistemológico*. Einstein es un kantiano descafeinado, por cuanto tiene de apriorista que renuncia a toda trascendentalidad. Einstein se rebeló contra el positivismo de raigambre machiana. La razón no sólo recopila hechos, sino que los ordena, pues el científico es agente constructor de nuevos conceptos y teorías. Sin embargo, este rasgo kantiano se ve contrarrestado por la crítica humeana en el pensamiento de Einstein. El sujeto crea conceptos, mediante libre invención, a partir de la experiencia. De estos conceptos se entresacan axiomas que permiten deducir proposiciones falsables por experimentos científicos. Con otras palabras, el método de la física es el método hipotético-deductivo, puesto que no existe camino lógico que nos guíe de manera segura desde la experiencia hasta los conceptos. «No existe un método inductivo que nos conduzca a los conceptos fundamentales de la física [...] la situación más satisfactoria, es evidente, se hallará en los casos en que las nuevas hipótesis fundamentales sean *sugeridas* por el propio mundo de la experiencia» (1981, 276-277). Según Einstein, la intuición sustituye a la inducción en el quehacer del físico.

Por otra parte, el *credo metafísico-religioso*. Por Einstein discurre ese torrente pitagórico o platónico que hace concebir la realidad como estructura matemática. Una característica que, a su modo de ver, constituye el mayor milagro del mundo, ya que nos capacita para comprenderlo. No en vano, Einstein respondió a un rabino de una sinagoga neoyorquina que él sólo creía en el dios de Espinosa, que le revelaba una armonía entre todos los seres y cosas del Universo. E incluso llegó a dejar por escrito pensamientos idénticos refiriéndose a la verdad científica: «Detrás de todo trabajo científico de elevado nivel, subyace una convicción –cercana al sentimiento religioso– de la racionalidad o inteligibilidad del mundo [...] Una creencia que está unida a un profundo sentimiento de la existencia de una mente superior que se revela en el mundo de la experiencia [...] En el lenguaje corriente esto podría definirse como *panteísmo* (Spinoza)» (1981, 234).

Estas afirmaciones archiconocidas, como apunta Rioja (1989, 89), «son consecuencia, no de su credo epistemológico, sino de su credo

metafísico-religioso, estando este último en abierta contradicción con el anterior». En efecto, ¿cómo compaginar el intuicionismo epistemológico con el matematicismo religioso? ¿Cómo conjugar la libre elección de conceptos con su postulada universalidad legal? La inconsistencia de Einstein en sus planteamientos explicaría las contradictorias exégesis a que ha dado lugar. Y, sin embargo, bajo todas las consideraciones einsteinianas, siempre latió el indeleble «realismo adecuacionista».

2. El adecuacionismo también ha sido defendido por múltiples filósofos de la ciencia, aunque generalmente con mayor sutileza. Por ejemplo, Mario Bunge o Ilkka Niiniluoto, cuyo *realismo científico crítico* recupera intuiciones de Popper apelando a ideas de Bunge. Para Niiniluoto: «Mientras los instrumentalistas intentan analizar el desarrollo de la ciencia en términos de éxito pragmático sin genuino progreso cognitivo –es decir, sin decir nada acerca del contenido de las teorías científicas a nivel ontológico– los realistas pueden afirmar que la mejor explicación de la existencia de éxito pragmático en la ciencia es la asunción de que la ciencia ha hecho progreso en sentido realista» (Rivadulla: 1986, 280). La ciencia progresa en la medida en que consigue encontrar información crecientemente verosímil acerca de la realidad. Esto es, la ciencia avanza cuando el retrato que el físico pinta gana en realidad.

La concepción representacionista del conocimiento científico es de tradición aristotélica, ya que ésta consideraba al ojo, por su humor acuoso, como un diminuto lago que, al igual que el ojo del alma, reflejaba o reproducía, con mayor o menor fidelidad, el mundo. De aquí beben las ideas de verdad como *homoiosis* (Aristóteles) o como *adaequatio* (Santo Tomás), que contemplan la verdad como una relación *sui generis* de adecuación entre la cosa y el entendimiento especulativo, que a modo de espejo la reflejaría. Y, como ironiza Bueno (1992, 1227), «la verdad queda así definida por medio de una metáfora que, aunque tomada de la luz, es sumamente oscura en sí misma». Con el paso del tiempo, esta relación de adecuación (correspondencia, acoplamiento, acuerdo, concordancia, armonía, mímesis) ha terminado solapándose con las de isomorfismo y similaridad en el ámbito de la filosofía de la ciencia. En efecto, en los últimos años, a tenor de la cantidad de publicaciones, la concepción de la ciencia y, en especial,

de la física como representación del mundo está muy en boga en el círculo de la filosofía anglosajona de la ciencia. La perspectiva representacional viene de la mano de la concepción semántica de las teorías científicas, que surgió a finales de los años 60 y se caracteriza por sostener –frente a la concepción sintáctica– que las teorías científicas no son conjuntos de enunciados sino conjuntos de modelos que aspiran a representar el mundo. Así, recapitulando, ha llegado a proponerse que la relación entre los modelos teóricos y los fenómenos físicos es de isomorfismo (Max Black, Steven French) o, de modo algo más débil, de similitud, semejanza o analogía (Mary Hesse, Ronald Giere).

3. A día de hoy, Ronald Giere y Philip Kitcher son –a nuestro entender– los filósofos adecuacionistas de la ciencia más llamativos. Desde su *realismo constructivo*, Ron Giere sostiene que las teorías científicas constan de una familia de modelos (proyectiles, péndulos, cuerdas de violín...) y de un conjunto de hipótesis («la Tierra y la Luna conforman, aproximadamente, un sistema gravitacional newtoniano de dos partículas»). La familia de modelos que contiene una teoría científica viene dada mediante definiciones teóricas, y sus modelos suelen ser semejantes entre sí. El conjunto de hipótesis teóricas enlaza esos modelos con sistemas del mundo real. Dichas hipótesis pueden ser verdaderas o falsas, pero la relación esencial en ciencia, según Giere, no es la de verdad sino la de similaridad. En *Explaining Science*, Giere abogó por abandonar la concepción de la representación como isomorfismo por la de similaridad:

> Seguramente no hay ninguna razón lógica por la que un sistema real no pueda ser de hecho isomorfo a algún modelo. Pero, para ninguno de los ejemplos citados en los libros de texto de mecánica, por ejemplo, se encuentra tal afirmación de isomorfismo. Con frecuencia los manuales señalan explícitamente aspectos en los que el modelo falla en ser isomorfo al sistema real. […] Si queremos hacer justicia a la propia presentación de la teoría que hacen los científicos, debemos encontrar una interpretación más débil de la relación entre el modelo y el sistema real. La relación apropiada es, sugiero, de similaridad (Giere: 1998: 80-81).

Para Giere, los agentes científicos trabajan con modelos que, al no ser entidades lingüísticas, no son susceptibles de verdad, sino sólo de guardar similitud, en mayor o menor grado respecto de ciertos aspectos, con los sistemas reales: «una teoría de la verdad no es un requisito

previo para una teoría adecuada de la ciencia» (1988, 81). Pero Giere sigue moviéndose en la estela de la idea de verdad como adecuación: una cosa es que haya renunciado a su modulación lingüística como *correspondencia* y otra cosa, muy diferente, que haya abandonado la imagen de las teorías científicas como representaciones *adecuadas* al mundo. Concordamos, pues, con Diéguez (1998, 242) cuando escribe: «la noción de similitud, tal como Giere la emplea, expresa una correspondencia entre un modelo teórico y el mundo análoga en todo a la que la noción de verdad expresa entre un enunciado y el mundo».

El *realismo constructivo* es constructivo porque concibe los modelos teóricos como constructos humanos, y es realista porque acepta tanto el *realismo de teorías* como el *realismo de entidades*:

> Cuando una teoría científica es aceptada, se considera que la mayor parte de los elementos de la misma representan (en algún grado) aspectos del mundo [...] No puede haber ninguna duda de que los físicos nucleares que yo he observado son realistas en el sentido de que creen que algo está dando vueltas en el ciclotrón, atravesando sus conductos y golpeando los objetivos (Giere: 1988, 7 y 124).

Además, Giere sostiene que puede hablarse de progreso científico en la dimensión que atañe a la ganancia en *detallismo* de nuestros modelos teóricos (*realismo progresivo*).

4. A pesar de que comparte el enfoque naturalista en filosofía con Giere, donde la reconstrucción lógica de la ciencia deja paso a la observación directa de los científicos con ayuda de las ciencias cognitivas, Philip Kitcher se distancia en que pretende rehabilitar la teoría de la verdad como correspondencia de Tarski para sustentar un realismo científico fuerte, que asume tanto el realismo de entidades y teorías como el progreso científico. Este es el objetivo de su influyente libro *The Advancement of Science*, publicado en 1993. Con posterioridad Kitcher ha matizado algunas de sus tesis en *Science, Truth and Democracy*, de 2001, aspirando a compatibilizar su realismo adecuacionista con la relatividad conceptual; pero, como pone de manifiesto Diéguez (2010), el resultado se concreta en un realismo mucho más modesto, pues no es fácil armonizar ambos preceptos.

Kitcher es un reconocido filósofo de las matemáticas y de la biología que, en el ámbito gnoseológico, ha intentado retorcer los argumentos clásicos de los antirrealistas y los instrumentalistas. Para Kitcher

(1998), el progreso es un hecho en la mayoría de áreas científicas, puesto que la capacidad de predicción e intervención se ha incrementado significativamente. La mejor explicación de este éxito no es otra que la verdad, es decir, que la mayoría de entidades científicas refieren (existen en el mundo con independencia de nuestras teorías) y que la mayoría de representaciones de la naturaleza que elaboramos son correctas. Es la *meta-inferencia de la mejor explicación* o, por decirlo con Putnam (1979), el *argumento del no-milagro*: sería un completo milagro que las teorías científicas no se adecuaran al mundo y, sin embargo, tuviesen el enorme poder predictivo, explicativo y práctico de que hacen gala. El realismo es la única filosofía que no hace del éxito de la ciencia un milagro. Es más, a juicio de Kitcher, el realismo es la posición por defecto o de sentido común en la ciencia, correspondiendo la carga de la prueba a los antirrealistas, que son los que deben demostrar lo erróneo de esta postura, pues la historia de la ciencia permite –en su opinión– ser optimistas a pesar de los errores: «creemos que Priestley estaba equivocado, que Lavoisier se equivocó, que Dalton se equivocó, que Avogadro se equivocó, y así sucesivamente; pero también creemos que Lavoisier mejoró a Priestley, Dalton a Lavoisier, Avogadro a Dalton» (1993, 137).

5. Para concluir este repaso de la familia de teorías adecuacionistas de la ciencia, nos resulta de especial interés el denominado *realismo estructural*, por cuanto aúna temas de la filosofía de las matemáticas y de la física. Esta corriente en filosofía de la física guarda parentesco con el estructuralismo logicista en filosofía de las matemáticas. Para Parsons (1990), Shapiro (1997) o Resnik (1997), los objetos matemáticos no son sino estructuras, dado que cada conjunto consistente de axiomas posee infinitos modelos. Así, el 13 es un número primo no por una propiedad inherente al número, sino por el lugar que ocupa dentro de la estructura de los números naturales. La matemática sería, por consiguiente, una ciencia de estructuras o modelos. Esta perspectiva platonizante recuerda a la del grupo Bourbaki, que precipitó en unos *Elementos de Matemática* que tomaban la noción de estructura como primitiva. Si en la antigüedad lo importante eran los objetos matemáticos (los números para la aritmética, las figuras espaciales para la geometría, las funciones para el análisis), la modernidad habría puesto de manifiesto que lo primordial son las relaciones entre

esos objetos. A partir de tres estructuras fundamentales (algebraica, de orden, topológica), Bourbaki derivaba el resto de estructuras matemáticas (espacios vectoriales, &c.), quedando la matemática como un almacén de formas abstractas. Bourbaki admitía que la realidad se acomodaba a algunas de estas estructuras pero sin que se supiera muy bien por qué, como si hubiera una suerte de armonía preestablecida. Y a renglón seguido calificaba de misterioso o, incluso, irrazonable –por decirlo con el archicitado adjetivo de Wigner (1960)– el asunto de la aplicabilidad de las matemáticas. Los filósofos estructuralistas de las matemáticas creen encontrar una explicación satisfactoria aduciendo que el físico encuentra estructuras matemáticas que subyacen al Universo no matemático. Esta respuesta entronca, como vamos a comprobar, con la que ofrecen los filósofos estructuralistas de la física de orientación analítica (y que, por norma general, ignoran la concepción estructural de las teorías científicas planteada desde el continente europeo por Stegmüller, Balzer y Ulises Moulines).

Va para más dos décadas que John Worrall (1989) dio carta de naturaleza a esa variante del realismo científico que él mismo bautizó como «realismo estructural». De entonces acá, este realismo científico no estándar ha cautivado la atención de la gran mayoría de filósofos realistas y antirrealistas de la ciencia. No en vano, muchos lo consideran como la versión del realismo científico más defendible, dado que se encuentra a medio camino entre el realismo clásico y el instrumentalismo. En principio, el realismo estructural nos ofrece –empleando la expresión de Worrall (1989, 99) que ha hecho fortuna– «lo mejor de ambos mundos».

Si las teorías científicas no fueran aproximadamente verdaderas, sería un milagro que realizaran predicciones tan acertadas. Pero el realista estructural reconoce, aceptando la *meta-inducción pesimista* de Laudan (1981), que múltiples teorías científicas, que en su momento fueron consideradas como verdaderas a la luz de su éxito, han sido posteriormente refutadas y abandonadas definitivamente. Teorías notablemente efectivas fueron reemplazadas por otras. Entidades que un día fueron útiles terminaron por ser desechadas. La cuestión es cómo acomodar, a un mismo tiempo, la inferencia a la mejor explicación y la inducción pesimista. Según Worrall, a través del cambio científico, como ejemplifica en óptica la pervivencia de las ecuaciones desde

Fresnel a Maxwell o en física la existencia de casos límite, se conserva la estructura matemática.

Si las teorías nuevas retienen la estructura matemática de las teorías antiguas, es porque las estructuras matemáticas de las teorías científicas representan fielmente la estructura real del mundo. Worrall (1989, 117) asevera que «hay una continuidad o acumulación en el cambio, pero la continuidad es de la forma o estructura, no del contenido». En otras palabras, en la historia de la ciencia existe una continuidad en la estructura matemática, aunque no necesariamente en la ontología física. El mobiliario que atribuimos al mundo cambia notablemente, pero conserva su disposición. Worrall (1994, 336) da buenas noticias al realista: «El realismo estructural entresaca una inducción optimista de la historia del cambio teórico en ciencia, pero es una inducción optimista con respecto al descubrimiento de la estructura matemática en vez de la ontología individual». Worrall y los realistas estructurales defienden, aunque suene paradójico, una suerte de realismo de teorías (estructuras) sin realismo de entidades. Sólo conocemos las relaciones entre cosas, no las cosas mismas. Relaciones sin relata. Una idea, como apunta Ladyman (2014), en germen en Poincaré, Duhem o Russell.

6. Históricamente, nuestro siguiente protagonista, el descripcionismo de raigambre positivista, tuvo el honor de abrir fuego contra el adecuacionismo de sesgo realista que dominaba tradicionalmente la filosofía de la física. Ya Moritz Schlick (2002, 17, 25 y 27) observó que el conocimiento de la naturaleza, en cuanto alcanza niveles macro y microcósmicos, ha de renunciar a asentarse sobre modelos de representación. Sin embargo, numerosos filósofos de la física siguen sosteniendo –como hemos comprobado– que los modelos representan el mundo, sin precisar bien qué entienden por «representación». Con frecuencia se piensa que los modelos físicos representan, simulan o imitan la realidad. Pero las imágenes pictóricas de la realidad física son ilusorias. Ni los átomos ni el espacio-tiempo pueden traducirse en imágenes visuales. Cuando abandonamos el contexto mundano, la idea de *representación* engendra demasiada oscuridad y confusión, enredándonos en una metafísica intratable.

El adecuacionismo da por bueno que la teoría es capaz de representar, en sentido realista, el mundo. Pero la noción de representación es la

cruz del realismo adecuacionista. El realista estructural, por ejemplo, precisa de una relación de representación fuerte –isomorfismo– entre la estructura matemática de la teoría y la estructura de la realidad para poder garantizar que «nuestras mejores teorías representan el mundo de modo aproximadamente correcto» (French & Saatsi: 2006, 556). Pero, ¿qué significa «*representar la estructura del mundo*»? ¿Cómo puede una estructura matemática representar algo que no es abstracto?

La tentación pitagórica (o platónica) consiste en cortar por lo sano y replicar directamente, sin precaución alguna, que la estructura matemática de la teoría simplemente está copiando o reflejando la propia estructura matemática del mundo, como si la realidad estuviera escrita en caracteres matemáticos. Pero el realista estructural puede hacerlo mucho mejor. Cuando afirma que la teoría representa el mundo quiere decir que la teoría y el mundo comparten, en cierto grado, la misma estructura. De otra manera: la estructura (matemática) de la teoría y la estructura (matematizable) del mundo son (parcialmente) isomorfas (French: 2003).

Ahora bien, este postulado de isomorfismo estructural entre la teoría y el mundo nos conduce a un callejón sin salida.[2] En el dominio de la física cuántica, la mecánica matricial de Heisenberg y la mecánica ondulatoria de Schrödinger eran matemáticamente equivalentes y, sin embargo, la estructura que cada una de ellas prescribía a la realidad era muy diferente. En efecto, la mecánica matricial proyectaba sobre el mundo una estructura discreta, lo que llevaba a Born y Jordan a referirse a ella como una «verdadera teoría del discontinuo» y acentuaba una visión corpuscular del mundo atómico. En cambio, la mecánica ondulatoria proyectaba sobre la realidad una estructura continua, lo que provocaba que Schrödinger hablara de su creación como de una «nueva física del continuo» y se asociaba con una concepción ondulatoria del microcosmos. Análogamente, el modelo nuclear *de capas* y el *de gota líquida* son empíricamente equivalentes pero ónticamente incompatibles. Y si uno presupone que los modelos teóricos representan la realidad, ha de deducir que el mundo está loco, pero –como aduce Rivadulla (2004a, 182)– «la Naturaleza no puede ser esquizofrénica».

2 Cf. Rivadulla (2010) y Madrid Casado (2008b, 2009c y 2010a) para una discusión detallada de los dogmas del realismo estructural.

Haríamos bien en abandonar definitivamente la comparación del proceso de desarrollo del conocimiento científico con la pintura de un retrato en la que uno puede irse acercando cada vez más a una representación exacta de la persona real retratada. La razón es que la historia de la física muestra que es perfectamente posible tener modelos teóricos muy distintos, incluso opuestos, para el mismo dominio de fenómenos.

Además, el adecuacionismo se basa en la posibilidad de distinguir con precisión la estructura de nuestras teorías de su contenido u ontología. En dos palabras: forma y materia. Pero esta distinción no es –como mantendrá el circularismo– clara ni distinta. De hecho, tal y como la emplean los realistas estructurales, colapsa. No existe un corte limpio entre la estructura y la ontología de nuestras teorías, esto es, entre el formalismo matemático y la interpretación física.

La ocurrencia del realista estructural de que lo que se conserva a través del cambio científico es la estructura matemática –las ecuaciones se preservan o sobreviven como casos límite– y no su contenido, siendo diferentes ontologías compatibles con una misma estructura, dista de ser cierta, ya que toda estructura matemática conlleva aparejada una *carga ontológica*. Las estructuras matemáticas están cargadas de ontología. La estructura matemática no puede separarse con nitidez de la ontología física, porque no existe algo así como una neutralidad ontológica de las matemáticas. Ningún lenguaje –ni siquiera el matemático– es neutro en la descripción del mundo. Por decirlo con Van Fraassen (2007, 55): «¿Tiene sentido concebir una estructura que no es estructura de algo? *Una estructura de nada es nada*». Aún más, retraduciendo, ¿tiene algún sentido pensar que el formalismo sin interpretar sea el entero responsable del éxito de las teorías científicas? El formalismo condiciona la interpretación, porque el aparato matemático empleado arrastra un *peso ontológico*. No cualquier interpretación es compatible con un formalismo. Nuestro caso anterior de estudio nos aporta un ejemplo estrella: ¿Por qué Schrödinger propuso una interpretación ondulatoria de su mecánica? Porque si había una ecuación de ondas, tenía que haber ondas.

No basta con aferrarse al formalismo y afirmar que las estructuras matemáticas que éste satisface son las únicas en que cree el realista estructural, porque cada estructura matemática puede conllevar un

mundo distinto. La tarea del físico teórico no se limita a buscar una teoría matemática adecuada a la experiencia, porque el repertorio de teorías matemáticas que tiene a su disposición orienta decisivamente el alcance ontológico. La física matemática es, según la conocida expresión de Meyerson, creadora de ontología. Recíprocamente, la matemática puede verse afectada, ontológicamente hablando, por la suerte que corra la física en cuya formulación aparece. Así, el indeterminismo cuántico rompió el matrimonio entre la física y las ecuaciones diferenciales. Quizá, sencillamente, por la razón de que la matemática aporta su grano de ontología.

En resumen, la distinción estructura/ontología no se sostiene, porque «ambas forman un continuo» (Psillos: 1995, 31; 1999, 157). La carga ontológica de las matemáticas no es despreciable y, por consiguiente, la posibilidad de diseccionar la estructura matemática de la ontología de las teorías físicas, como si existiera una nítida frontera, parece un espejismo. Con otros términos: la relación entre forma y materia en la ciencia no es de adecuación o yuxtaposición como defiende el adecuacionismo, sino más bien de conjugación como en el circularismo.

Hagamos balance de las fisuras del adecuacionismo. A lo largo de las últimas páginas hemos presentado la idea de ciencia propia de esta familia de teorías gnoseológicas, tratando de dejar constancia de que todas ellas invocan en mayor o menor medida el fantasma de la representación. Si los realistas adecuacionistas no aclaran esta noción, la defunción de su realismo científico será cuestión de tiempo. Y si prescinden de ella, el deslizamiento hacia el teoreticismo será inevitable. Este enfoque sólo tiene sentido suponiendo que la realidad posee una estructura previa isomorfa o similar a nuestros modelos científicos; pero ¿cómo podemos conocer tal estructura de la realidad al margen de los propios modelos científicos? En palabras de Bueno (1995, 33):

> Podría decirse que el adecuacionismo, al conceder un peso equivalente a la forma de las ciencias y a su materia, reúne las ventajas del descripcionismo y del teoreticismo y, por tanto, ofrece la apariencia del reconocimiento más pleno y equilibrado posible de los componentes de los cuerpos científicos. Sin embargo, tal reconocimiento es sólo un espejismo. El adecuacionismo sólo tiene sentido en el supuesto de que la materia tenga una estructura previa isomórfica a la supuesta estructura que las formas han de tener también por sí mismas. Pero, ¿cómo podríamos conocer científicamente tal estructura

> de la materia al margen de las propias formas científicas? Lo que llamamos "materia isomorfa", ¿acaso no es la misma forma hipostasiada y proyectada sobre el campo de referencia? El adecuacionismo se constituye, por tanto, como una conjunción de la hipóstasis de la *forma* (como la que practica el teoreticismo) y de la hipóstasis de la *materia* (como la que practica el descripcionismo). [...] Se comprende, por tanto, cuando nos situamos en este punto de vista, que sólo desde el descripcionismo, o desde el teoreticismo, habría sido posible "abrir brecha" en la compacta apariencia del adecuacionismo.

Cuando el nudo gordiano de la concepción de la ciencia como representación fue cortado, otras filosofías de la física saltaron a la palestra.

Capítulo 4
Descripcionismo: recolectores y hormigas positivistas

El filósofo «descripcionista» de la física retoma la vieja imagen de inspiración positivista del científico como *recolector* de hechos que, a lo sumo, tras registrarlos, procede a clasificar y archivar. La pista de esta imagen, tomada de una época ingenua y genial en que no escasearon los científicos geniales e ingenuos, puede rastrearse en múltiples obras de Comte o Magendie (maestro de Claude Bernard). El noble oficio de recolector guarda afinidad con la *hormiga*, especie emblemática del bestiario que utilizara el Canciller Bacon en su célebre analogía del empirismo. El descripcionismo comprende la física como descripción del mundo. Las teorías, los modelos y las proposiciones físicas no son más que herramientas destinadas a describir hechos empíricos. Al borrar toda influencia de la forma en física, esta posición sitúa como lugar específico de la verdad a la materia de cada ciencia física. La verdad científica será verdad con respecto a lo observable. Desde esta concepción, la función del físico es describir el mundo, tal vez con fines tecnológicos: si el científico es una hormiga, el laboratorio será una suerte de hormiguero o termitero. Y las matemáticas se concebirán, de acuerdo a la doctrina formalista, como un inocente juego de símbolos, a los que el científico natural echa mano en función de sus intereses.

4.1 Formalismo

1. Mientras que el platonismo y el logicismo mantienen que la exactitud de la matemática descansa en un reino celestial, el formalismo va a anclarla al papel escrito. La matemática no es sino un juego de notaciones carente de significado. Es la antigua actitud *nominalista* ante los universales. Los formalistas sostienen que los símbolos aritméticos son simples signos sobre el papel, vacíos de sentido, y que la aritmética consiste en ciertas reglas, como las del ajedrez, para manipular dichos signos.

Pero, ¿cómo sobrevino el formalismo? A diferencia del logicismo, más ligado al desenvolvimiento del análisis y la teoría de conjuntos, el advenimiento del formalismo posee un trasfondo geométrico, ligado al desarrollo de la axiomática y al nombre de David Hilbert, cuya consigna era: «en el principio fue el signo». No obstante, el programa para fundamentar la matemática que Hilbert pergeñó quedó fuera de combate por culpa de los derechazos infligidos por Gödel. Nos referimos a los célebres resultados de incompletitud.[3] Hilbert y sus pastores matemáticos construyeron un recinto –un sistema axiomático– para proteger al rebaño de los lobos –de las contradicciones–, pero desconocían si habían dejado algún lobo dentro. El formalismo, en cuanto fundamentación de la matemática, besó la lona; pero, en cuanto metodología de las matemáticas, ganó a los puntos. La concepción ultraformalista de las matemáticas todavía nos acompaña, aunque en los últimos años la tendencia a presentar la matemática como una momia embalsamada ha decaído.

2. La corriente formalista puede ponerse en correspondencia con el neopositivismo descripcionista, puesto que los miembros del Círculo de Viena siguieron de cerca los avances de Hilbert, Zermelo y Von Neumann. No obstante, su atención se repartió a partes iguales con el logicismo, pues este movimiento se adaptaba mejor a sus exigencias, aunque, sabedores de las convulsiones que había sufrido, no tardaron en asimilar el grueso del formalismo a la hora de axiomatizar la sintaxis lógica. Para Carnap, como para Hahn y el resto de positivistas lógicos, las matemáticas no eran más que identidades analíticas, tautologías,

3 En Madrid Casado (2013a, caps. 4 y 5) desarrollamos el fracaso del programa de Hilbert.

y en el límite verdades por convención. Una raquítica posición que adoptaron por influjo de Wittgenstein I, y que casaba bien con la visión formalista de las matemáticas como retahíla de signos carentes de contenido. Frente a las distorsiones platonizantes, los neopositivistas, como los formalistas, se encogen de hombros y simplemente señalan que las matemáticas se usan en física porque son una buena herramienta, que pone a punto el lenguaje para describir con precisión los hechos observados.

A día de hoy, hay alguna otra posición en filosofía de las matemáticas que puede coordinarse con el descripcionismo, por cuanto pone todo su énfasis en la materia, despreciando el peso de la forma en matemáticas. Estamos pensando en el nominalismo fisicalista de Hartry Field, que defiende una ciencia sin números, donde las referencias a entidades matemáticas abstractas –números, funciones, conjuntos– han sido sustituidas por referencias a puntos espacio-temporales. El número 13 sería, al igual que Don Quijote, una ficción. Curiosamente, como pone de relieve Caba (1997), el intento de minar el carácter de indispensable que se atribuye a la matemática en la física acerca a Field a Carnap, pues para ambos la matemática es un mero auxiliar en la ciencia empírica.

4.2 Del Círculo de Viena a Van Fraassen

1. Los filósofos y científicos del Círculo de Viena (Moritz Schlick, Rudolf Carnap, Otto Neurath, Hans Reichenbach, Carl Gustav Hempel...), constituido en 1929, adoptaron la teoría descripcionista de la física influidos por Comte, Mach, Karl Pearson y Russell. Los positivistas lógicos del XX rompieron, de este modo, con el adecuacionismo que todavía anidaba en el seno del positivismo del XIX. En general, todos los neopositivistas son, hasta el día de hoy, descripcionistas, como lo es por ejemplo Bastian van Fraassen. Desde el punto de vista positivista, la forma de la física no es más que un conjunto de métodos e instrumentos destinados a recoger, sin demasiada distorsión, la materia, es decir, los hechos mismos.

La asunción de que existe una base observacional común, neutra desde el punto de vista teórico y describible empleando un lenguaje

fisicalista universal, garantizaba –para los neopositivistas– la unificación de las ciencias. En la Enciclopedia de la Ciencia Unificada, las proposiciones protocolares, que se atenían a lo dado, permitían la inducción de leyes físicas, que luego eran verificadas experimentalmente. Para Schlick, cabeza visible del Círculo, hasta que fuera asesinado por un estudiante filonazi en la escalinata de acceso a la Universidad de Viena, «el primer paso para la comprensión de la naturaleza depende de su descripción, que es equivalente al establecimiento de los hechos» (2002, 28). El segundo paso comporta la explicación de la naturaleza, esto es, la descripción por medio de leyes, cuyo cometido «es d-escribir y no pr-escribir, enuncian lo que ocurre actualmente y no lo que tiene que ocurrir» (2002, 31). Las teorías físicas son, por consiguiente, cálculos axiomáticos, es decir, sistemas de proposiciones que formulan leyes o funciones que describen y reproducen los datos de las tablas de observación. En palabras de Schlick (1965, 219): «El fin no puede ser otro que el de la ciencia misma, a saber, dar una descripción verdadera de los hechos».

Hasta Stephen Toulmin, cuyo principal mérito reside en haber sido uno de los primeros críticos de la Concepción Heredada del Círculo a partir de los años 50, estaba anclado en posturas descripcionistas de la física. Toulmin (1964, 129) concibe al físico como «agrimensor de fenómenos», porque el físico echa mano de tal o cual teoría científica en función de su necesidad, de igual manera a como el agrimensor traza tal o cual línea en función de lo que desea medir. Las leyes de la naturaleza no son más que reglamentaciones del método matemático que utilizan los físicos para describir e interpretar fenómenos. En lo que atañe al debate realismo-antirrealismo, Toulmin (1964, 164) atinaba a distinguir implícitamente las tesis del realismo de teorías y de entidades, puesto que no se deben «confundir dos cuestiones distintas: la cuestión de la aceptabilidad de las teorías y la cuestión de la realidad de las entidades teóricas». Fiel al descripcionismo heredado, que valora la materia más que la forma, su postura consistía en defender un realismo de entidades al tiempo que rechazaba un realismo de teorías. Hechos, y no teorías.

2. Actualmente, la filosofía descripcionista de la física más potente es el *empirismo constructivo* propugnado por Bas van Fraassen. La posición filosófica de Van Fraassen se opone a toda variedad de

realismo científico y se caracteriza por un antirrealismo de raigambre empirista, que Hacking (1996, 61) reseña como un «positivismo contemporáneo» y Cartwright (1983, 56), por su parte, como un «instrumentalismo sofisticado». En sus propias palabras: «La ciencia se propone ofrecernos teorías que son empíricamente adecuadas; y la aceptación de una teoría involucra como creencia solamente que ella es empíricamente adecuada» (Van Fraassen: 1996, 28). Las teorías científicas consisten en conjuntos de modelos cuyas subestructuras empíricas aspiran a describir las apariencias, es decir, a ser empíricamente adecuadas, a ser verdad con respecto a lo observable. (Van Fraassen es más «descripcionista» que «teoreticista» porque, como los antiguos positivistas, sigue hablando de verdad, aunque sólo en relación con lo fáctico.) El *empirismo* de Van Fraassen se traduce en que las teorías físicas buscan describir literalmente la empiria. ¿Dónde aparece su *construccionismo*? En que la actividad científica no posee como meta el descubrimiento de la verdad como adecuación –que afectaría tanto a lo observable como a lo inobservable– sino la construcción de modelos correctos con respecto a lo fenoménico.

Para Van Fraassen (1996, 189-190), de las dos funciones tradicionalmente asociadas con la ciencia (describir y explicar), sólo la primera constituye una virtud genuina. Lo importante es que nuestras teorías describan, que sean adecuadas empíricamente. Las teorías sólo gozan de una capacidad organizativa evaluable pragmáticamente. Este horror positivista por lo teórico lo manifiesta Van Fraassen (1996, 261-262) al preguntarse: «¿Qué electrón observó Millikan: el de Lorentz, el de Rutherford, el de Bohr o el de Schrödinger?». Van Fraassen desconfía de las teorías por cuanto, guiándose por ellas, Van Leeuwenhoek creyó ver al microscopio unos *homunculi* en su semen. Lo mejor del caso es que los amigos de Van Leeuwenhoek también creyeron ver esos diminutos hombrecillos en el semen de su amigo. Quedémonos, pues, con los hechos observables, concluye Van Fraassen. Pero, ¿cuáles son esos fenómenos observables que debemos *salvar*? Pues aquellos que es posible registrar considerando nuestro propio cuerpo biológico como aparato de medición. Por ejemplo, un satélite de Júpiter es observable –puesto que podemos acercarnos en una nave espacial y verlo a simple vista– mientras que un electrón resulta inobservable –puesto que no podemos empequeñecernos cual

Alicia en el País de las Maravillas para visualizarlo–. El electrón no es ni más ni menos que un recurso destinado a que nuestras teorías físicas resulten adecuadas empíricamente. Sin embargo, esta curiosa propuesta conlleva la aceptación de que, pongamos por caso, los dinosaurios no son observables –puesto que no podemos viajar en el tiempo para verlos– y, por tanto, no tenemos por qué creer en ellos ni tomarlos demasiado en serio. Van Fraassen clausura la ontología científica en aquello que podemos ver y tocar, como Santo Tomás ante el Resucitado.

3. Históricamente, el teoreticismo fue el primero en abrir brecha en el descripcionismo. El teoreticismo pagó al descripcionismo con la misma moneda con que éste había pagado al adecuacionismo. Filósofos de orientación teoreticista como Popper o Kuhn pulverizaron la concepción de la ciencia como una vendimia de hechos, como mera «hechología» desligada de cualquier clase de teoría. No hay hechos brutos. Es imposible describir la realidad de un modo neutral. Todo conocimiento –dirá Hanson– está impregnado de teoría. Todo mirar es un teorizar, por decirlo con Goethe. Es la tesis de la *carga teórica de la observación*. Con sus críticas, Quine y Putnam hicieron saltar el cerrojo positivista que cobijaba las distinciones analítico/sintético, teórico/observacional, descubrimiento/justificación, &c. Recordemos el famoso acertijo de Eddington acerca de cuánto influye la estructura de nuestras teorías físicas a la hora de informarnos de los hechos mundanos: si un ictiólogo fondea los mares pertrechado con una red de dos pulgadas de amplitud, todos los peces con menos de dos pulgadas de tamaño se le escaparán, y podría concluir erróneamente que no existen peces de menor tamaño... El positivismo subestimó las funciones gnoseológicas de la teoría en la física.

Capítulo 5
Teoreticismo: pescadores y arañas popperianas

El filósofo «teoreticista» asume que el oficio de científico es equiparable al de *pescador*. Según esta comparación, el científico arroja sus redes teóricas al mar de los fenómenos en la esperanza de atrapar dentro de sus mallas algún preciado o novedoso hecho. Esta metáfora se encuentra en Popper (1962, 57) y guarda un notable parecido con aquella otra del científico como *araña*, dedicada a tejer y destejer las telarañas (las teorías) que segrega a fin de utilizarlas como redes para apresar los insectos (los hechos) que se cruzan con sus telas. El teoreticismo localiza el centro de gravedad de la física en la construcción de teorías científicas, subrayando los componentes no empíricos de las ciencias físicas. La física será, entonces, un proceso de construcción de teorías fundado en el método hipotético-deductivo-predictivo. Planteamos hipótesis teóricas de las que deducimos predicciones empíricas que la experiencia se encargará de confirmar o refutar. La filosofía teoreticista de la física se pliega a los avances recientes de la llamada física teórica (teoría de la relatividad, teoría cuántica), que era donde el descripcionismo positivista mostraba más a las claras sus limitaciones (esas teorías estaban *infradeterminadas empíricamente*). Y con respecto a la matemática, el teoreticismo tiende a concebirla como libre creación del espíritu humano, una visión que engarza con la del intuicionismo.

5.1 Intuicionismo

1. Frente al platonismo y al logicismo, que defienden que las verdades matemáticas se descubren, el intuicionismo mantiene que son, en realidad, inventadas. La exactitud de las matemáticas no subyace en el papel, como quiere el formalismo reduccionista, sino en el intelecto humano. Las matemáticas son creaciones mentales. Es la mente humana la que crea, por vía de la intuición, los universales matemáticos. Nos encontramos, pues, ante la doctrina *conceptualista* medieval. Luitzen Egbertus Jan Brouwer, tradicionalmente llamado L. E. J. Brouwer, con sus iniciales, o Bertus Brouwer, por sus amigos, es el máximo exponente del intuicionismo y propugnó un regreso a Kant, Poincaré y su pintoresca filosofía de las matemáticas (y fue, lo que es menos sabido, el responsable del camino que emprendió Wittgenstein II).

2. La visión kantiana de las matemáticas, lejos de pertenecer a la prehistoria de la filosofía de la matemática, forma parte ineludible de su historia, puesto que caló hondo en el pensamiento de Brouwer y muchos otros matemáticos. Manuel Kant era un gran conocedor del panorama científico de su época. Baste recordar al respecto que escribió aportaciones al mismo (por ejemplo, su tratado *Monadologia physica*, que anticipa remotamente el concepto de campo de fuerzas) y que incluso planteó en su *Opus postumum* la posibilidad de desviación de los rayos de luz por el Sol. En lo tocante a las matemáticas, intentó arrojar luz sobre geometría y aritmética porque, según él, «apenas [los matemáticos] han filosofado jamás sobre sus matemáticas (tarea nada fácil)» (B 753). Sin olvidar las reflexiones que hiló sobre la lógica (aristotélica), disciplina que «según todas las apariencias se halla, pues, definitivamente concluida» (B VIII). No cabe duda de que doscientos años de investigaciones matemáticas han supuesto un serio ajuste de cuentas para las ideas kantianas (nacimiento de las geometrías no euclídeas, surgimiento de la lógica matemática...) pero, curiosamente, sus ideas han sido a menudo reivindicadas. Así, por ejemplo, Hintikka, Parsons... y, en España, Javier de Lorenzo. Este último recupera la figura de Kant como precursor de la línea constructivista en filosofía de las matemáticas en tanto en cuanto opuesta a (o, si se quiere, complementaria de) la línea

existencialista, más característica de lo que él denomina como «hacer global» (contrapuesto o complementario del clásico «hacer figural», para el que no necesariamente existe, en sentido matemático, aquello no contradictorio, consistente). Para Kant, la aritmética, al igual que la geometría, «no deriva de conceptos, sino de la construcción de los mismos, es decir, de la intuición que puede darse a priori en correspondencia con los conceptos» (B 762).

3. Este constructivismo llega hasta Kronecker y Poincaré. En *Ciencia e hipótesis*, Henri Poincaré apuntaba que la posibilidad de una ciencia matemática encierra una contradicción irresoluble. Si todas las matemáticas pueden ser derivadas unas de otras usando la lógica formal, como quiere el logicismo, resultaría que la matemática no es más que una gigantesca tautología. Y es que el silogismo nunca añade nada nuevo y, por tanto, todos los teoremas no dirían más que $A=A$. Pero, ¿es esto cierto? ¿Son todas las verdades matemáticas analíticas? Es claro que las verdades matemáticas son a priori (independientes de la experiencia), pero pueden distinguirse en virtud de su prueba entre analíticas y sintéticas a priori, como apuntó Kant. Las primeras resultan de un proceso de *verificación*. Y las segundas de un proceso de *demostración* fundado en el razonamiento por recurrencia (principio de inducción). Mientras que la verificación es como una máquina de salchichas en cuya entrada se mete el cerdo y en cuya salida sale la ristra de salchichas bien ordenada, la demostración por inducción conlleva un salto lógico, el de la prueba de infinitos silogismos. Este paso de lo finito a lo infinito es lo que posibilita, a juicio de Poincaré, la maravilla creativa de las matemáticas. La demostración constituye un mecanismo creador. Por esto es tan importante en matemáticas realizar demostraciones distintas de un mismo teorema, para enlazar cada vez diversos conceptos. Lo que fecunda la matemática, separándola de la inane lógica, no sólo es la inducción fundada en la intuición, sino también la noción de grupo. Otro sintético a priori, pero esta vez de la geometría en vez de la aritmética. Poincaré compara la matemática y la lógica con el ajedrez: las reglas del ajedrez, como las de la lógica, nos dicen qué movimientos puede hacer cada jugador, pero no explican por qué hace éste y no aquél. A fin de cuentas, como subrayaba en *Ciencia y método*, la intuición es ese relámpago que ilumina súbitamente al matemático en mitad de la noche y posibilita la invención matemática.

4. Recogiendo el testigo de Poincaré, Brouwer mantiene que la lógica es estéril y la matemática lo sería si no fuera continuamente fecundada por la intuición (de hecho, los trabajos de Heyting y la escuela soviética sobre la lógica intuicionista molestaron al matemático holandés porque terminaron convirtiendo el intuicionismo en una especie de formalismo). Brouwer se agarra al intuicionismo kantiano del tiempo, no así al del espacio, ya que el descubrimiento de las geometrías no euclídeas debilitó la concepción apriorística del mismo. El intuicionismo comprende, en suma, las matemáticas como una actividad libre de la mente, independiente del papel, del lenguaje y, por descontado, de cualquier reino platónico.[4] Actualmente, podríamos señalar como herederos del intuicionismo a diversos constructivismos (como el de Michael Dummett o el numérico auspiciado por Errett Bishop) e, incluso, a alguna variedad de modalismo (que, con Putnam o Hellman, sustenta que el matemático sólo trata con *posibilia*, con entidades posibles, y que la matemática es una suerte de lógica modal).

5.2 Del falsacionismo al giro historicista y sociológico

1. Excelentes ejemplos de teoreticismos son los convencionalismos, enfrentados al positivismo decimonónico, de Pierre Duhem y, en especial, de Henri Poincaré, quien ya nos ha salido en cuanto *fons et origo* del intuicionismo matemático moderno. Frente al positivismo (Comte, Mill...) que imperó durante la mayor parte del siglo XIX, y cuyo énfasis en empirismo e inducción heredaría el neopositivismo del XX, destacó el criticismo convencionalista de Poincaré o de Duhem, que –al igual que Whewell– llamaron la atención sobre los componentes anticipativos de cualquier conocimiento científico. Para Gustavo Bueno (1992, 1200), se trata de «la primera concepción verdaderamente crítica que se elevó en el horizonte de la filosofía moderna de la ciencia».

Caricaturizando la filosofía decimonónica de la ciencia, podríamos decir que, moviéndose entre el positivismo y el escepticismo,

4 En Madrid Casado (2018, caps. 5 y 6) desarrollamos las bases de la filosofía y la matemática intuicionistas propugnadas por Brouwer.

Poincaré y Duhem mantuvieron que los conceptos científicos son, en efecto, convenciones; pero convenciones no arbitrarias, pues dependen de la experiencia, que muestra si son exitosas o no, aunque en ningún caso si son verdaderas o falsas. El arsenal conceptual de la ciencia sólo comprende herramientas, instrumentos susceptibles de resultar más o menos útiles. Así, para Duhem, una teoría física no es más que un sistema de proposiciones matemáticas, deducidas de principios, que aspiran a recoger leyes experimentales del modo más simple, completo y exacto. Por su parte, Poincaré asevera que los conceptos científicos presentan cierto carácter de libre convención, pero no por ello son arbitrarios:

> Si fuera así la ciencia sería impotente. Ahora bien, la vemos diariamente obrar ante nuestros ojos. [...] ¿La ley de aceleración, la regla de la composición de fuerzas, no son, pues, sino convenciones arbitrarias? Convenciones, sí, arbitrarias, no; lo serían si se perdieran de vista las experiencias que han conducido a los fundadores de la ciencia a adoptarlas y que, por imperfectas que sean, bastan para justificarlas (Poincaré: 2002, 53 y 154).

El físico formula ecuaciones que, luego, proyecta en el mundo. Y la aceptación de una u otra no implica que sea verdadera, sino sólo que es más útil, cómoda, sencilla y/o fecunda en nuestro trato con la naturaleza. La ciencia se guía, según Poincaré, por unos valores intrínsecos –precisión, coherencia, amplitud, simplicidad, fecundidad– que, curiosamente, coinciden con la lista que Kuhn (1993, 346) adoptará como canónica, y entre los que el matemático francés no cuenta la verdad. Porque la naturaleza carece de estructura y sólo la adquiere cuando conceptualizamos el sistema de relaciones entre sus objetos. De este modo, no puede decirse que la estructura dada por la ley de caída de los graves sea descubierta, como si el mundo estuviera escrito en caracteres matemáticos o matematizables, sino más bien que es una idealización que imponemos al mundo (negando, por ejemplo, la resistencia del aire) para aprehender aproximadamente su funcionamiento. Afirmar la verdad de una relación física carece de sentido *per se*, si no es dentro de una estructura, como carece de sentido afirmar que la proposición que expresa que la suma de los ángulos de un triángulo es 180º es verdadera si no es dentro de la geometría euclídea.

Y es que la teoría de la física de Poincaré no puede deslindarse de su teoría de la matemática, advertencia que suele pasar inadvertida. De igual manera que pasa con las estructuras geométricas, no toda estructura física es válida para la naturaleza; pero, aun así, la naturaleza puede recibir diferentes estructuras físicas –como diferentes geometrías (euclídea o no euclídea)–, que no tienen por qué ser completamente equivalentes. Preguntar por la verdad de una de ellas es como preguntarnos si el sistema de numeración decimal es más verdadero que el binario, o si el sistema de coordenadas cartesiano lo es más que el polar. El espacio es amorfo, una forma flácida, sin rigidez, adaptable a todo y carente de propiedades por sí mismo. Es la conceptualización de las relaciones entre los cuerpos lo que lo dota de estructura. Así, la privilegiada geometría euclídea no es la verdadera sino, simplemente, la más sencilla. (La doctrina de Poincaré consiste, en este punto, en aunar el convencionalismo geométrico con la teoría relacional del espacio, recuperando a Leibniz frente a Newton, Kant y Einstein.) De hecho, para Poincaré, cualquier complejo teórico de la mecánica, la electrodinámica o la óptica está formado por la conjunción de una geometría y un conjunto de hipótesis físicas. Si este complejo teórico es refutado empíricamente, se abren dos opciones para salvarlo: o bien reemplazar la geometría por otra; o bien modificar alguna hipótesis física (tesis Duhem-Quine o del holismo). En cualquier caso, los complejos teóricos alternativos resultan empíricamente equivalentes pero lógicamente incompatibles.

El convencionalismo geométrico y físico de Poincaré fue duramente criticado en la época, y aparentemente aceptado por Duhem, quien lo extremó en un instrumentalismo radical que convierte la ciencia en mero recetario pragmático que palidece frente a la religión, llegando este último a proponer una «física del creyente».

2. Otro ejemplo muy significativo de filosofía de la ciencia teoreticista es, desde luego, el falsacionismo de Sir Karl Popper, enfrentado al neopositivismo. A juicio de este autor toda observación está cargada de teoría. Popper defiende el primado de lo teórico sobre lo práctico. Las teorías no proceden de los hechos por inducción, sino que surgen a partir de otras teorías anteriores convenientemente modificadas. La teoría sólo respira teoría. En consecuencia, como escribió en *La lógica de la investigación científica* (1934 y 1959), «las ciencias em-

píricas son sistemas de teorías y la lógica del conocimiento científico puede, por tanto, describirse como una teoría de teorías» (1962, 57). Desde este teoreticismo (calificativo que difícilmente puede ser más preciso), la dinámica de la ciencia exige, en un primer momento, la proliferación de teorías y, en un segundo momento, la posibilidad de falsación de esas teorías. Efectivamente, como explicó en *Conjeturas y refutaciones* (1963), las teorías «científicas» han de poder ser sometidas a falsación, de modo que nos quedemos provisionalmente con aquéllas que resistan la contrastación con los hechos y abandonemos las refutadas por la experiencia. Las teorías que no son potencialmente falsables no son científicas, sino metafísicas. La irrefutabilidad no es, según Popper, una virtud sino un vicio.

Ahora bien, las críticas de Popper al inductivismo, al verificacionismo y al fundacionalismo último del método científico no pueden confundirse con la asimilación de una postura convencionalista. Deductivismo, falsacionismo y falibilismo metodológico aparecen combinados en la obra popperiana con una defensa, a capa y espada, de la idea reguladora de aproximación a la verdad por parte de la ciencia (*realismo progresivo*), que se acentuaría con la evolución de su pensamiento y es notoria en *Conocimiento Objetivo* de 1972. «Una afirmación fundamental de esta concepción es la de que la ciencia aspira a elaborar teorías *verdaderas*, aunque nunca podamos estar seguros de si una teoría particular es o no verdadera, y la de que la ciencia *puede* progresar (y sabe que progresa) inventando teorías que, comparadas con las anteriores, pueden ser consideradas como mejores aproximaciones a lo verdadero» (1983, 217). Popper habló de *realismo crítico*, pero éste se resuelve, como él mismo viene a reconocer, en un *realismo conjetural* que, si es consecuente con su propio teoreticismo, ha de acabar desembocando en un instrumentalismo más o menos antirrealista. Si se desconecta la ciencia de la materia empírica, quedándose con la forma teórica, resulta imposible recuperarla.

3. De otra manera: si se desliga la verdad científica de la materia, conformándose con la forma, sólo cabe hablar de verdad como coherencia. Es la postura de Hilary Putnam, un ejemplo de crítico con el descripcionismo que termina abrazando el teoreticismo. Todo neokantiano acaba siendo idealista. Putnam es un filósofo de la ciencia que ha atravesado varias etapas en su desarrollo como pensador, a veces no

muy bien diferenciadas. Distinguimos dos navegaciones, a saber: (1ª) *realismo metafísico*; y (2ª) *realismo interno* (más tarde, *pragmático*).

Para Putnam (1981, 49), el realismo metafísico consistía básicamente en las tres premisas siguientes: a) existe un mundo prefabricado (*ready-made world*), esto es, un mundo de objetos independiente del sujeto; b) existe un Punto de Vista del Ojo de Dios (*God's-Eye View*), esto es, una y sólo una descripción verdadera del mundo en sí mismo; c) la verdad es la adecuación (correspondencia) entre nuestros enunciados científicos y las cosas del mundo real. Putnam va a dirigir un ataque en toda regla contra la tercera premisa, es decir, contra el oscuro modo en que, supuestamente, ideas y hechos se adecúan: es el argumento de la teoría de modelos. Recurre para ello a un ejemplo que ha hecho fortuna. El realista metafísico puede perfectamente pensar que todos los seres humanos no somos sino cerebros en una cubeta conectados a un superordenador (como *Matrix*) que nos proporciona virtualmente las sensaciones que conforman nuestro mundo habitual. Así, hasta la mejor teoría científica que elaborásemos sería falsa, porque no describiría el mundo tal como en realidad es. Ahora bien, Putnam afirma que la mejor teoría científica imaginable no puede no ser verdadera. Supongamos que, efectivamente, somos cerebros en una cubeta y pensamos: «somos cerebros en una cubeta». A primera vista diríamos, con el realista metafísico que también así lo piensa, que este enunciado es verdadero. Pero determinar la referencia de las palabras no es fácil. Si echamos una segunda ojeada a la cuestión, nos daremos cuenta de que el enunciado «somos cerebros en una cubeta» es traducible a «somos cerebros en una cubeta-virtual», es decir, cuando mencionamos la palabra «cubeta» no nos estamos refiriendo a las «cubetas-reales» en que flotan nuestros cerebros sino a las «cubetas-virtuales» que todos conocemos. Y como basta una mirada en derredor para hacernos conscientes de que no somos cerebros en una cubeta-virtual, resulta que el enunciado «somos cerebros en una cubeta» es falso. En conclusión, la hipótesis de que somos cerebros en una cubeta se autorrefuta: el mero hecho de pensarla ya la desmiente. Y con ella, según Putnam, se hacen añicos las ideas del *God's-Eye View* y del *ready-made world*. (Para Devitt (1984, cap. 11), una cosa es que no podamos *pensar* que somos cerebros en una cubeta y otra cosa, bien distinta, que no podamos *serlo*.)

El realismo interno se define principalmente por el siguiente lema: «La mente y el mundo construyen conjuntamente la mente y el mundo» (Putnam: 1981, XI). De otro modo, las cosas no las pone nuestra mente (rechazo del idealismo metafísico) pero, al mismo tiempo, tampoco son independientes por completo de ella debido a los medios que la mente usa para acercarse a las cosas (rechazo del realismo metafísico). Nos encontramos, para decirlo con Hacking (1996, 132), ante un realismo empírico y un nominalismo trascendental. Estas ideas de raigambre kantiana se complementan con la matización, llevada a cabo por Putnam (1987, 77), de que el realismo interno no conserva la dicotomía fenómeno/noúmeno: «nos vemos forzados a reconocer con William James que la pregunta acerca de qué parte de nuestra red de creencias refleja el mundo en "sí mismo" y qué parte es nuestra "contribución conceptual" no tiene más sentido que la pregunta: ¿camina un hombre más esencialmente con su pierna izquierda o con su pierna derecha?». El realismo interno propone, entonces, la *aceptabilidad racional* como imagen de verdad: una teoría científica es verdadera si y sólo si, en condiciones epistémicas ideales, es predictivamente-retropredictivamente exitosa, coherente, comprehensiva y simple; equivalentemente, nos encontramos con una objetividad con «o» minúscula, con una objetividad para nosotros. La verdad *internalista* es, pues, cierta *coherencia ideal* entre nuestro sistema de creencias y nuestras experiencias en tanto aparecen representadas dentro de tal sistema. Justo como anunciamos. Pero, como apunta Rivadulla (2004b, 145), «redefinir *verdad* como *aceptabilidad racional en condiciones epistémicas ideales* aplaza, pero no evita, la decisión de prescindir del realismo una vez asumida la imposibilidad de aceptar las teorías como descripciones del mundo». Teoreticismo y antirrealismo van de la mano.

4. Y cuando esto se asume sin complejos, aparecen los teoreticismos radicales, que niegan cualquier papel a la materia, a los «hechos», en la construcción de las verdades científicas. A partir de los años 60 del pasado siglo, aprovechando la caída de la Concepción Heredada (así bautizada por Putnam), los derroteros en filosofía de la física vinieron marcados por la irrupción de los nuevos estudios históricos de la ciencia propiciados por Thomas S. Kuhn y Paul K. Feyerabend.

El giro historicista kuhniano, impreso con la publicación de *La estructura de las revoluciones científicas* en 1962, supuso un revulsivo para las concepciones «ahistóricas» de la ciencia, en un momento en que el popperismo estaba en pleno auge. La discrepancia entre Kuhn y Popper quedó escenificada, como sabemos gracias a Lakatos (ese popperiano con gafas kuhnianas), en el coloquio internacional sobre filosofía de la ciencia celebrado en Londres en 1965.

Frente a la prosa adormecedora de Carnap y los empiristas lógicos, Kuhn desplazó el interés de la lógica de la investigación científica, del «contexto de justificación» (por decirlo con Reichenbach), a la dinámica real del descubrimiento científico, al «contexto de descubrimiento». Según Kuhn, no hay ningún motivo para creer en el crecimiento acumulativo del saber, como quería Popper. Mientras que el filósofo vienés sostenía –distanciándose de los positivistas lógicos y su énfasis en la verificación– que la realidad nunca dice rotundamente *sí* a nuestras propuestas teóricas, el historiador y filósofo estadounidense resaltaba que raramente nos proporciona un *no* taxativo. «Si cada fracaso del ajuste fuese razón para rechazar una teoría, habría que rechazar todas las teorías todo el tiempo» (Kuhn: 2004, 145).

Este pesimismo se sustenta en su censura de la inducción optimista («del éxito se infiere la verdad») y, sobre todo, en su eximia tesis de inconmensurabilidad entre paradigmas científicos: «Las diferencias entre paradigmas sucesivos son necesarias e irreconciliables» (2004, 165). Los científicos que trabajan en dos paradigmas separados por una revolución emplean conceptos teóricos –referentes a entidades, estados o procesos– de significado distinto, intraducible, aunque sean homónimos. El ejemplo estrella lo ofrecen –según Kuhn (2004, 199–202)– los conceptos de masa newtoniana y einsteiniana, constante la primera y variable la segunda.[5] Tras el descubrimiento del oxígeno, Lavoisier comenzó a trabajar en un mundo por completo diferente

5 Kuhn, Feyerabend y otros filósofos de su cuerda se escudan en la polisemia del término masa para negar que los físicos relativistas construyeran su teoría de modo que la teoría clásica perviviera como caso límite, a fin de heredar su éxito; pero Field (1973) y Rivadulla (2004c) ponen en jaque su caso estrella. El primero, en un argumento que recogerá Kitcher (1993), sostiene que lo que se produjo es un refinamiento de la referencia. El segundo muestra que la popular distinción masa en reposo o constante / masa relativista o variable carece de justificación teórica, como también han señalado físicos de la talla y el prestigio de H. Goldstein, C. Adler, L. Okun, E. Taylor o J. A. Wheeler.

al de Priestley. «Cuando cambian los paradigmas, el propio mundo cambia con ellos» (2004, 212). Pero los científicos suelen ser ciegos a este drástico cambio.

La sucesión de teorías científicas no nos acerca a la verdad, porque el perfeccionamiento a la hora de resolver problemas o rompecabezas poco o nada tiene que ver con que las entidades y los procesos que postula la teoría estén realmente ahí fuera. «La noción de un paralelo entre la ontología de una teoría y su contraparte "real" en la naturaleza, ahora me parece, en principio, ilusoria» (2004, 314). Kuhn no duda de que la mecánica de Newton mejoró la física de Aristóteles, o la teoría de Einstein la de Newton, pero sospecha que esta transición no muestra una dirección coherente de desarrollo ontológico. Kuhn (2004, 296 y ss.) se muestra como un kantiano darwinista: no hay progreso hacia la verdad, sino en el mejor de los casos una selección de las teorías más adaptadas a partir de lo que conocemos. De este modo, la astrología no sería una ciencia no porque no sea falsable, sino porque no muestra progreso en su capacidad para resolver problemas.

Además, desde la óptica de Kuhn, el cambio entre paradigmas mediante una revolución científica es una sustitución traumática que no tiene por qué ver con causas estrictamente gnoseológicas (pongamos por caso, un *experimentum crucis*): «Las revoluciones científicas se inician con un *sentimiento* creciente, a menudo restringido a una estrecha subdivisión de la comunidad científica, de que un paradigma existente ha dejado de funcionar adecuadamente en la exploración de un aspecto de la naturaleza» (2004, 186-187; cursivas mías). Durante una revolución científica, la lógica y la experimentación dejan de funcionar inequívocamente. Y, al igual que ocurre durante una revolución política o religiosa, la persuasión pasa a ser el arma determinante, de manera que los científicos cambian de credo mediante conversiones súbitas (2004, 189 y 264). Curiosamente, este psicologismo, que se disuelve como el azúcar en agua, se ha convertido en devocionario de múltiples historiadores y sociólogos de la ciencia. En *La tensión esencial*, Thomas Kuhn escribió: «luego de haber abierto la caja de Pandora, la cerraré de inmediato» (1993, 312). Pero no logró hacerlo, pese a que pasó la segunda navegación de su vida académica matizando lo que había dicho en la primera. Al poner el acento en la persuasión durante la elección de teorías, aunque fuera en relación con

argumentos epistémicos, este «conservador fallido» abrió la caja de los truenos.

En 1970, aparece *Contra el método* de Paul Feyerabend. Al grito de «¡todo vale!», este provocativo anarquista metodológico se lanzó a luchar contra ese «maestro de escuela» llamado Karl Popper (*sic*) y la tiranía de palabras como verdad, objetividad y razón. Para este antiguo teniente de las SS, no existía mucha diferencia entre los verdugos de Auschwitz y esos pretendidos benefactores de la humanidad que son los científicos (Recio & Rioja: 2007). La ciencia del primer mundo no sería, como escribiera en la introducción a la edición china de *Contra el método*, más que una ciencia entre otras ciencias. Desnudado del corsé ideológico, Einstein se revelaría como una suerte de chamán.

Con el tiempo, luchando por el bando relativista, Richard Rorty haría acto de presencia. Para Rorty no hay manera de llegar a saber si nuestras teorías representan la realidad, porque no podemos salir de nuestra propia piel para comprobar, cual putnamiano Ojo Divino, si tal engarce es el caso:

> No es más verdadero el que «los átomos son lo que son porque usamos "átomo" como lo hacemos» que el que «usamos "átomo" como lo hacemos porque los átomos son lo que son». [...] *Ambas* son pseudo-explicaciones (Rorty: 1991, Introd.).

Y otro tanto vale para conceptos como «célula», «jirafa» o «dinosaurio». Para Rorty (1998, 87) no tiene sentido afirmar que las jirafas o los dinosaurios están o han estado «ahí afuera». Los hechos dependen irrevocablemente de nuestras descripciones. Usamos «jirafa» o «dinosaurio» como lo hacemos porque nos es útil hacerlo así, pero una hormiga o una ameba jamás habrían tenido una jirafa o un dinosaurio en su mundo. Los conceptos funcionan como moldes corta-galletas que tallan la materia bruta e informe del mundo. Tal vez, donde mejor se palpe el teoreticismo rortiano sea justo aquí, en su «idealismo lingüístico» (Rorty: 1998, 90); porque la materia queda totalmente absorbida en la forma, la realidad subsumida en los esquemas conceptuales.[6]

6 A diferencia de Rorty, Umberto Eco (1999, 61 y 295) subraya que el mundo puede ser proposicionalmente amorfo, pero presenta líneas de tendencia estables. No podemos, por ejemplo, cruzar gatos y perros. El ser puede no tener un sentido, pero tiene sentidos. Quizá no obligatorios pero, desde luego, hay prohibidos.

El filósofo estadounidense hace suya la sentencia del filósofo de la ciencia Arthur Fine (1986): «el realismo ha muerto». Y llega a similar conclusión que Feyerabend: carece de sentido preguntar si el discurso astrofísico es más correcto que el discurso astrológico. Inclinarnos por el primero frente al segundo sólo muestra nuestro compromiso etnocéntrico con ciertos patrones culturales, con la retórica que forjó Occidente (Rorty: 2010, cap. VII).

5. Y en estas, a mediados de la década de los 70, llegó la deriva de la sociología del conocimiento científico y los estudios sociales de la ciencia. La Ciencia, con mayúscula, sería un mito, una narración o construcción social, y el conocimiento científico no divergiría en nada de otro tipo de conocimientos –artísticos, políticos, religiosos– salvo quizá en eficacia. Estamos ante las *Guerras de la Ciencia* (por emplear la expresión acuñada por Andrew Ross, editor de *Social Text*, y que Sokal & Bricmont han popularizado en *Imposturas intelectuales*), dentro de las cuales se está ventilando el porvenir de esa disciplina secular que llamamos filosofía de la ciencia o gnoseología, que puede fragmentarse y terminar siendo progresivamente sustituida por la historia de la ciencia, la sociología del conocimiento científico o los estudios sobre ciencia y cultura en el ámbito académico francés y anglosajón (con la complicidad del posmodernismo y la filosofía analítica).

La sociología de la ciencia se ha propuesto sustituir la concepción adecuacionista, ya limada por el descripcionismo y el teoreticismo de raigambre gnoseológica, por otra que ponga de relieve el modo en el que el mundo natural, sobre el que siempre se ha pensado que se funda el conocimiento científico, es en realidad una construcción social. O sea, es el entramado social que envuelve al sujeto –las creencias, las expectativas, la totalidad de la cultura– lo que constituye al objeto. Lo cual significa nada menos que la inversión de la relación clásica entre sujeto y objeto, entre forma y materia. Mientras que la filosofía tradicional de la ciencia daba prioridad al impacto de la naturaleza, la sociología de la ciencia enfatiza el contexto social: lo que dicta el final de una controversia científica no es la realidad, sino que es la realidad lo que se forma como consecuencia del cierre de la controversia. Hacking (2001, 33) advierte que «cuando leemos sobre la construcción social de X, a lo que se hace referencia comúnmente

es a la idea de X»; pero, para ese lobo con piel de cordero que es la sociología del conocimiento científico, no es que el concepto de átomo o de quark sea una construcción social (lo que suena razonable), sino que los propios átomos o quarks lo son. Y las matemáticas, por descontado, una mera convención social.

Los sociólogos han pasado, como señala Umberto Eco (1999, 297), de la *veri-ficación* a la *veri-dicción*, del análisis de lo que es verdadero al análisis de las estrategias por las que algo se acepta como verdadero dentro del discurso científico. Los valores epistémicos han sido devorados por los valores sociales. La verdad por la autoridad. Los sociólogos dan cuenta de las decisiones científicas en términos de intereses –como la búsqueda de reconocimiento o crédito dentro de la comunidad científica– y no de razones, de manera que conocimiento científico es lo que en cada circunstancia y lugar una sociedad considera como tal.

Ahora bien, hay que matizar que el primer constructivista fue el positivismo lógico. Así, Carnap escribió *La construcción lógica del mundo* en 1928, donde aspiraba a reconstruir todo el edificio científico con ladrillos lógicos, de modo que todo él reposara sobre la indubitable experiencia inmediata. Lo que ha cambiado con el paso de los años ha sido la fuente de los materiales de construcción: la lógica por la sociología. En consecuencia, el peligro no proviene del género sino de la especie: de si esa construcción es lógica, material o, simplemente, social.

Con gran perspicacia Woolgar (1990, 35) atribuye a Kuhn el quiebro que dio paso a este enfoque sociológico radical, a pesar –como nos recuerda Huerga (2003, 29)– de que el propio Kuhn lo calificó en alguna ocasión de deconstrucción insensata. Es la «miseria del teoreticismo»: Popper arrumbó el criterio positivista de verificabilidad, alimentando sin querer una concepción débil de la verdad científica como conjetura provisional, como meta ideal; y Kuhn, por su parte, arrinconó el criterio popperiano de falsabilidad, contemplando –al aunar la perspectiva teoreticista y discontinuista de Alexandre Koyré con la perspectiva sociológica y constructivista de Ludwik Fleck– la ciencia como una serie de teorías que se suceden como si de modas fruto del consenso de la comunidad científica se tratase. Este físico reconvertido en historiador puso el acento, durante los periodos de cambio de paradigma,

en la seducción entre científicos de uno u otro bando, aunque siempre dentro de un estricto internismo. La ciencia es el producto de un grupo social peculiarmente aislado, que se preocupa por valores tales como la precisión, la coherencia, la amplitud, la simplicidad o la fecundidad. *La estructura de las revoluciones científicas* dejó prácticamente indiferentes a los historiadores de la ciencia, a pesar de que con posterioridad se fabuló el mito de una imaginaria revolución historiográfica.[7] Pero su recepción, es cierto, escindió a los epistemólogos en dos partidos irreconciliables: «kuhnianos de derechas» y «kuhnianos de izquierdas». Entre los primeros, los filósofos positivistas y popperianos, que vieron esta obra como un ultraje, y ello pese a que en el epílogo Kuhn (2004, 303) se quejaba de que no convertía la ciencia en una empresa subjetiva e irracional. Entre los segundos, un público de lo más variopinto, donde se mezclaban pensadores cercanos a la ola contracultural de los 60-70 (el libro ha llegado a ser traducido incluso al vascuence) y, atención, los futuros sociólogos del conocimiento científico. El relativismo social es, por tanto, una consecuencia del *crack* de los programas gnoseológicos clásicos (adecuacionistas, descripcionistas y teoreticistas, cual fichas de dominó cayendo) y de la sucesiva incorporación de materiales históricos y sociológicos en la imagen tradicional de la ciencia (Huerga: 2003, 22). Las ciencias comenzaron a reducirse a la condición de meras formaciones culturales, literarias, desconectadas de la verdad y la objetividad. Así, el sociólogo Barry Barnes (1987, 63) afirma sin tapujos: «La ciencia es conocimiento teórico. Y es conocimiento teórico en su totalidad, no sólo parcialmente». Es el teoreticismo radical.

En la estela de Kuhn, los sociólogos del conocimiento científico se apropian de algunas tesis procedentes de la filosofía de la ciencia, como las de la carga teórica de la observación, la infradeterminación empírica o la inconmensurabilidad entre teorías científicas (Kitcher: 1993, 167-168; 1998, 38 y ss.). Para llevar el agua a su molino, los sociólogos olvidan que muchas de las tesis de Kuhn son vagas, discutibles, y extraen conclusiones bastante diferentes en grado. Por

7 Cf. Paolo Rossi (1990, cap. 5). De hecho, el historiador Paul Forman (1971), al presentar su célebre tesis sobre que la aceptación del indeterminismo cuántico estuvo mediatizada por el ambiente irracional y acausalista en que trabajaron los físicos alemanes tras la derrota en la Gran Guerra, no citó *La estructura de las revoluciones científicas* y sólo mencionó a Kuhn en dos ocasiones, en calidad de historiador de la teoría cuántica y la radiación del cuerpo negro.

ejemplo, suponen, sobreestimando la carga teórica de la observación, que el científico observa aquello que espera, cuando la historia de la ciencia muestra miles de observaciones inauditas, como el descubrimiento de los rayos X. O inciden en que la evidencia empírica no es suficiente para decidir unívocamente qué teoría elegir, pero paradójicamente obvian que también se da una infradeterminación de las teorías científicas por los factores sociales.

No obstante, los sociólogos tienen razón en que los filósofos de la ciencia al uso deben explorar la contribución relativa de las dos fuerzas, del polo natural y del polo social, haciendo saltar la distinción ortodoxa entre historia interna/externa de la ciencia. Así, para Gustavo Bueno (1992, 295):

> El sociologismo absoluto obliga a un replanteamiento de los fundamentos en los que cabe apoyar el objetivismo científico, sobre todo cuando se ha desistido de todo realismo ingenuo (de la interpretación de las leyes de Kepler como re-presentación de leyes naturales absolutas, o de la interpretación de la tabla periódica como determinación de la 'estructura del Universo' en su nivel químico). […] Sólo por la crítica de esta alternativa se nos hace posible aproximarnos a una formulación crítica del objetivismo (las leyes de Kepler, o la tabla de Mendeleiev, aunque no son representaciones de la realidad en sí, tampoco son meras expresiones de la estructura social trascendental de alguna cultura en funciones de forma a priori kantiana, sociológicamente positivizada; pero si entre representación y expresión caben otras alternativas estas sólo han de poder configurarse a la vista de los 'valores extremos' límites).

Rastreemos, siquiera mínimamente, la genealogía de las sucesivas oleadas de este sociologismo absoluto. El estudio de las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad arranca, dejando aparte la fértil tradición marxista de Boris Hessen o John D. Bernal (Huerga: 1999), con Robert K. Merton, que se interesó en los años 30 por las raíces técnicas, ideológicas y socioeconómicas de la ciencia en la Inglaterra puritana del siglo XVII. Pero la sociología mertoniana de la ciencia o, más bien, de los científicos era heredera del neopositivismo y mantenía –al igual que Marx, Weber, Durkheim o Mannheim– que el conocimiento científico era especial. Los acontecimientos y las presiones de la sociedad condicionaban tanto las ideas directrices como los medios empleados por los científicos naturales, pero no determinaban completamente el desenvolvimiento de la ciencia, reteniendo ésta cierta autonomía. No se maltrataba, por consiguiente, el sucedá-

neo lógico de la ciencia dominante. Entre la sociedad y la ciencia se concebía una relación directiva y obstativa, pero no tanto una función conformativa o de impronta, en el sentido de que el estado del mundo moldeara el campo de la ciencia.

Con la crisis de la Concepción Heredada se abrió la caja negra de la ciencia. Y en la década de los 70 apareció el Programa Fuerte de la Sociología del Conocimiento Científico de la Escuela de Edimburgo, abanderada por David Bloor y Barry Barnes (aunque el segundo se ha mostrado más moderado que el primero). El conocimiento científico viene determinado causalmente por la sociedad, y el objetivo del sociólogo es describir cómo se construyen las creencias científicas y cómo en distintas épocas distintos grupos sociales han estudiado de forma diferente la realidad. Para esta escuela y sus continuadores, la sociología de la ciencia en cuanto «ciencia de la ciencia» tiene que respetar seis reglas metodológicas:

> *1. Naturalismo.* La ciencia es un proceso empírico y, por tanto, susceptible de investigación científica.
>
> *2. Relativismo.* No hay criterios absolutos de verdad y racionalidad.
>
> *3. Simetría.* Los estudios de la ciencia han de ser simétricos en el estilo de sus explicaciones; los mismos tipos de causas han de explicar las creencias verdaderas y falsas; es decir, tendríamos que permanecer alejados de la idea positivista (internalista) de que las explicaciones sociológicas, psicológicas, políticas, &c. sólo serían pertinentes para explicar el error, pero nunca la verdad.
>
> *4. Procesualidad.* Estudiemos la ciencia en acción y no la ciencia ya elaborada; para ello, estudiemos las teorías o hipótesis científicas antes de que sean aceptadas como verdaderas.
>
> *5. Performatividad.* Para juzgar la verdad u objetividad de una teoría o hipótesis no hay que buscar si está bien construida o está apoyada en más o menos datos; fijémonos en cómo son difundidas, cuántos recursos financieros movilizan, cuántos adhesiones promueven, &c.
>
> *6. Constructivismo.* Puesto que el cierre de una controversia científica es la causa de la representación de la realidad, no su consecuencia, nunca podemos utilizar esa consecuencia, ese constructo social, que es la realidad, para explicar cómo y por qué se ha cerrado una controversia (Barnes & Bloor: 1982).

Para los seguidores del Programa Fuerte, la sociología del conocimiento científico es la propia ciencia conociéndose a sí misma. En sus

manos, los intereses sociales explican el comportamiento de los científicos (externalismo). Pero algunos sociólogos elevaron su voz contra esta visión «sobreinteresada» del científico, contra este fuerte determinismo social. Algunos de los trabajos realizados daban la sensación de que la realidad no tiene nada que ver con lo que es socialmente construido o negociado para que cuente como conocimiento natural. Una impresión que seguramente era fruto de un exceso de entusiasmo en el análisis sociológico, porque los sociólogos en conjunto reconocen que el mundo restringe de alguna manera lo que se cree que existe. El conocimiento científico está guiado por intereses sociales, pero estos no son una condición suficiente para explicarlo.

En los años 80 surge el Programa Empírico del Relativismo de la Escuela de Bath-Cornell (Harry Collins, Trevor Pinch…), que asume que hay que ir caso por caso en la estimación del peso atribuible a la causalidad social. Mientras que el Programa Fuerte adoptaba un enfoque macro que tomaba como marco a la sociedad como un todo, el Programa Empírico adopta un enfoque micro, centrándose en el análisis de controversias que no sobrepasan el umbral de las comunidades científicas. Inspirándose en Kuhn y Wittgenstein II, estos sociólogos proponen que hay que mostrar, a partir de casos concretos, que los resultados científicos poseen siempre múltiples interpretaciones, jugando el mundo natural un papel pequeño o muy pequeño en la construcción del conocimiento científico estable. Con palabras de Collins y Pinch (1996, 15), que definen el *leitmotiv* del Programa Empírico: «el problema con los experimentos es que nada le dicen a uno a menos que estén hechos competentemente, pero en la ciencia sujeta a controversia nadie se pone de acuerdo en un criterio de competencia… esta es la razón de que los experimentos dejen de ser concluyentes y de que se dé el círculo vicioso [del experimentador]».

A través de estudios históricos estos autores buscan sacar a la luz el carácter eminentemente social de las aseveraciones de los científicos. Uno de los casos de estudio más citados es el de los neutrinos solares (Collins & Pinch: 1996, cap. VII). Mientras que los fotones permiten estudiar la superficie solar, los neutrinos dan acceso a su núcleo central. La detección de los neutrinos solares es importante porque probaría indirectamente que la fusión nuclear es la fuente de energía de las estrellas. En 1976, Ray Davis preparó un gran tanque rico en cloro en

un pozo minero en desuso. Su objetivo era probar la existencia de los sutiles neutrinos solares mediante la detección de una forma radiactiva de argón que, dado el aislamiento y la profundidad a la que se encontraba el tanque, sólo podía estar producida por su interacción con el cloro del fluido. Aunque –según Pinch en Collins & Pinch (1996, 152)– la predicción del flujo de neutrinos a detectar varió considerablemente entre 1962 y 1980 en función de la necesidad de fondos de los físicos, los neutrinos solares no se encontraron en la cantidad esperada (lo que, por otra parte, demostraría que la realidad material es terca, a pesar de las expectativas sociales). Los modelos teóricos del interior del Sol que predecían el número de neutrinos que tenían que llegar a la Tierra no se verificaron, pero tampoco fueron falsados. Atrapados en el círculo vicioso del experimentador, los científicos probaron a hacer ajustes tanto en la teoría –John Bahcall afinó las predicciones a la baja, lo que pareció *ad hoc*– como en el experimento –Davis introdujo a propósito 500 átomos de argón radiactivo en el tanque y los detectores los detectaron uno por uno, con lo que el problema no estaba en el diseño experimental–. (Posteriormente, dentro del circularismo, daremos gran importancia a esta dialéctica entre teoría y experimento o conjugación entre forma y materia en que consiste la ciencia.) La solución a la controversia pasó por realizar un reajuste en el eslabón más débil o menos reforzado (diríamos nosotros) de la física nuclear, en la física de neutrinos. Puesto que sólo se detectaba un tercio de los neutrinos predichos, los astrofísicos plantearon la teoría de la oscilación neutrínica: en su viaje del Sol a la Tierra los neutrinos oscilan entre tres tipos (muónicos, tauónicos y electrónicos, que eran los únicos detectables a priori). Experimentos posteriores en Canadá y Japón han confirmado esta teoría, «observando» los nuevos tipos de neutrino y ameritando que sus investigadores recibieran el Premio Nobel de Física 2015. Para Pinch, la sociología de los neutrinos solares muestra las negociaciones en la gama de creencias de los físicos nucleares antes de alcanzar un consenso. Pero otros sociólogos señalan que los partidarios del Programa Empírico tienden a generalizar a partir del estudio de casos extremos en las fronteras de la ciencia –los neutrinos solares o las ondas gravitacionales–, así como a sugerir que los ajustes en la teoría o la práctica son arbitrarios (reduciendo la ciencia –que, como veremos más adelante, contiene figuras sintácticas y semánticas objetivas– a sus aspectos pragmáticos subjetuales).

Hacia finales de la década de los 80, los Estudios de Laboratorio, auspiciados por Bruno Latour, Steve Woolgar, Karin Knorr-Cetina o Andrew Pickering, entre otros, levantaron el vuelo. Más que en comunidades institucionalizadas (como la de los astrofísicos o los físicos nucleares), estos autores focalizan su atención en el laboratorio, la manufactura del conocimiento y los procesos de construcción de los hechos científicos. Mediante métodos tomados prestados de la antropología y la etnografía, estos sociólogos se adentran en el laboratorio buscando describir cómo el mundo natural es, en realidad, un mundo ordenado socialmente, consecuencia del trabajo de los científicos. La actividad científica no sería sino una lucha feroz por construir la realidad a través de inscripciones, instrumentos que transforman fragmentos de materia en documentos escritos e interacciones sociales que persiguen la aceptación de diversas afirmaciones como hechos estables. Paralelamente a los Estudios de Laboratorio, la Etnometodología (Harold Garfinkel y sus doctorandos Michael Lynch y Eric Livingston) ha proporcionado una descripción minuciosa del trabajo en el laboratorio, aunque limitándose a la enumeración de las competencias del científico particular en su faena diaria y sin entrar deliberadamente en otra clase de consideraciones.

Como conclusión de este recorrido por las tres oleadas de la sociología del conocimiento científico (Programa Fuerte, Programa Empírico, Estudios de Laboratorio), cabe decir que se constata un progresivo deslizamiento de una sociología de la ciencia explicativa-causal a otra puramente descriptiva, conforme se atomizaba el ámbito de actuación de los factores sociales (sociedad → comunidad → laboratorio → científico). Ahora bien, según se producía esta metamorfosis, la concepción teoreticista de la ciencia de la primera sociología del conocimiento científico se ha ido suavizando. Esta actitud de viraje desde las teorías, las creencias y los artículos hacia lo operacional –los experimentos, las prácticas, los aparatos– es, efectivamente, algo que diferencia a los «nuevos estudios de la ciencia», como puede notarse en los escritos de Bruno Latour (del que rescataremos algunas ideas para la concepción circularista de las ciencias).

Finalmente, vamos a señalar los puntos débiles del Programa Fuerte y, por extensión, de las tres oleadas de la sociología del conocimiento científico. Nos referimos a la simetría y la reflexividad. Simetría,

reflexividad y relativismo son la Santísima Trinidad de la sociología del conocimiento. Pero, sin duda, la simetría es la regla metodológica fundamental que adoptan los sociólogos de la ciencia y, por decirlo castizamente, la madre del cordero. Consiste en que los estudios de la ciencia han de ser simétricos en el estilo de sus explicaciones, es decir, que los mismos tipos de causas sociales han de explicar las creencias verdaderas y falsas. Con ello, muere la sociología del error de corte positivista, para la que los factores sociales sólo eran pertinentes a la hora de explicar las equivocaciones o la mala praxis, y nace una sociología de la verdad que apuesta por que el estatuto de las proposiciones científicas se decide socialmente.

La situación ha llegado al extremo de que, emboscados en el dogma de la simetría (que impide diferenciar entre lo verdadero y lo falso), los sociólogos de la ciencia se muestran incapaces de distinguir entre el diseño inteligente y la teoría de la evolución: así, el sociólogo de la ciencia Steve Fuller testificó en un juicio en defensa de la enseñanza del diseño inteligente en EE.UU. en 2005, argumentando que es ciencia antes que religión, puesto que –al igual que el darwinismo– se trata de una teoría (nótese el tufillo teoreticista de la respuesta) (Camprubí: 2006). La sociología de la ciencia arruina, en el límite, la escala gnoseológica, y estudia la física igual que la frenología o la mariología. Pese a Newton, las piedras dejan de caer igual en Europa que en América.

Para los sociólogos, la génesis social de la ciencia vicia profundamente su validez. O, dicho con terminología de Reichenbach, el contexto social de descubrimiento anega por completo el contexto de justificación; porque cada conocimiento emerge, según su opinión, en condiciones sociales muy particulares, que lo generan y determinan. La aceptación rígida de la distinción de Reichenbach parecía garantizar la independencia mutua de sociología y gnoseología por los siglos de los siglos. Pero si se destruye esta distinción escudándose en la simetría, la sociología se convierte en falsa gnoseología. Porque el estudio social de la ciencia no puede dar cuenta de la configuración y desenvolvimiento histórico de las verdades científicas (como demuestra su incapacidad para distinguir el darwinismo del diseño inteligente: «ambos son teorías»). Estos procesos exceden por definición su ámbito: el análisis sociológico tiene la misma vigencia para el establecimiento de

una verdad que de una falsedad (algo que yace enterrado en la propia tesis de simetría o imparcialidad entre verdad y falsedad). En otros términos, como subraya Huerga (2003, 34-35), se trata de sostener frente a los sociólogos que una lectura atenta de la tesis de la simetría condena la invasión sociológica del terreno gnoseológico.

No hay, como insiste Gustavo Bueno (1992, 285), que proscribir los estudios sociológicos como vanos o desprovistos de valor, sino señalar que sólo arañan la génesis o las condiciones de existencia de la ciencia, no su estructura o esencia, al disolver la idea misma de verdad científica. Las notas históricas o sociológicas cobran un significado genuino a costa de renunciar a las cuestiones de justificación gnoseológica. Con palabras de Bueno (1995, 93):

> En alguna medida podría afirmarse que la incorporación masiva a las teorías gnoseológicas de la ciencia de materiales históricos y sociológicos se consigue a costa de reducir las ciencias mismas a sus contextos de descubrimiento (entendidos, es verdad, como «contextos de creación»). Es decir, a costa de reducir las ciencias a la condición de «formaciones culturales», desconectadas de la verdad. (En esta reducción reside precisamente su valor crítico.) […] Pero la línea de frontera a partir de la cual puede determinarse en qué momento la reconstrucción histórica o sociológica comienza a tener significado gnoseológico, permanece borrosa, o simplemente es inexistente. En realidad, la teoría de la ciencia se convierte en historia de la ciencia o en sociología de la ciencia.

Cuando esa regla de juego que es la simetría se aplica a la propia ciencia sociológica, nos encontramos con la reflexividad, con el «monstruo», como lo llama Woolgar. La sociología del conocimiento científico no sería una suerte de «ciencia de la ciencia» o «metaciencia» privilegiada, porque también depende de una serie de condiciones sociales concretas. Al igual que los científicos naturales, los científicos sociales se moverían impulsados por la pugna de poder académico en el ámbito de los *Science Studies*. De igual modo que una lectura kuhniana de la obra de Kuhn lo deja muy mal parado (fruto de un científico normal, nada revolucionario), una lectura relativista del relativismo parece reducirlo a la nada. No se puede ser un antirrealista natural y, seguidamente, un realista social, como en el fondo son la mayoría de sociólogos, que se limitan a cambiar la *Physis*, con mayúscula, por la *Polis*, también con mayúscula. Relativizan todo, a excepción de sus propios conceptos: sociedad, cultura…

(Rioja: 2009, 20). La sociología del conocimiento niega el establecimiento de normas a la física, pero ella misma se las da a través, por ejemplo, de los principios del Programa Fuerte. Desmitifican la física, pero mitifican la sociología.

Sólo Woolgar (1990) es coherentemente radical. Para alejar el fantasma del realismo, apuesta por una visión etnográfica de la ciencia, adoptando un descripcionismo empirista de salón. Propone, incluso, la exploración de nuevas formas literarias (Woolgar: 1990, 143), lo que supone la defunción de la sociología del conocimiento en lo que tiene de ciencia. Pero la alternativa a escribir textos ilegibles es –como apunta Rioja (2009, 26)– simplemente no decir ni escribir nada. En efecto, en su búsqueda de una deconstrucción de la propia sociología del conocimiento, Woolgar cuenta que llegó a proponer a Latour cerrar su célebre estudio conjunto sobre la vida en el laboratorio reflexionando, irónicamente, sobre si existía el Laboratorio Jonas Salk que describieron o el mismo Jonas Salk, que prologaba el libro (Iranzo *et al.*: 1994, 221-233). «El problema es, por supuesto, que una vez aceptado que las palabras no tienen relación alguna con las cosas; aceptado que no hay referente objetivo en el discurso; aceptado que tampoco el discurso sobre el discurso puede tener referente objetivo; aceptado que unos y otros son sólo "construcciones sociales" y, por lo tanto, ilusiones; aceptado todo esto, el discurso carece simplemente de objeto, carece de sentido y lo único que puede tener sentido es el silencio», como concluye Lamo de Espinosa (1994, 30). Pues tras la afirmación repetida *ad nauseam* «no hay verdad alguna», que sume al discurso en la paradoja, sólo el silencio parece legítimo.

6. Sin embargo, a fecha de hoy, lo más normal es que el filósofo de la física teoreticista adopte un instrumentalismo con cierta dosis historicista sin llegar al irracionalismo. Eludirá a un tiempo la imagen de la física como espejo de la naturaleza, propia del adecuacionismo realista, y el teoreticismo más relativista. Asumirá la tesis del instrumentalismo de teorías («las teorías no describen ni representan nada, tan sólo sirven como instrumentos para hacer predicciones»), que no es incompatible con un prudente y temperado realismo de entidades. Larry Laudan es un buen ejemplo. La principal lección que, según Laudan (1993, 34), podemos extraer de la historia de la física es: «Típicamente, las teorías posteriores no implican a sus antecedentes, ni las captan

como casos límite, ni mantienen en forma global e indiscriminada todas las consecuencias empíricas conocidas». La sucesión histórica de tradiciones o programas de investigación aporta evidencia suficiente para concluir que el cambio científico no respeta ni su contenido lógico ni su contenido empírico:

> Pero ni en la ciencia ni en ningún otro ámbito necesitamos hacer que el progreso dependa de cierto tipo de acumulación global. [...] Decir a los científicos que deben buscar teorías verdaderas, cuando aceptas que no hay manera segura de considerar como verdadera a ninguna teoría, o ni siquiera como «más verdadera que otra», es incitarles para que se sumen a una tarea imposible y absurda (Laudan: 1993, 35 y 71).

Es la *meta-inducción pesimista*, un sólido argumento contra el realismo científico adecuacionista que Laudan (1981) planteó apelando a la historia de la ciencia. La idea central es sencilla, y ya nos ha salido: la explicación del éxito de la ciencia no puede ser la verdad, como suele aducirse, porque muchas teorías científicas del pasado que eran exitosas contenían referencias a entidades que hoy día consideramos como no existentes (el flogisto, el éter, las esferas cristalinas, el calórico, la fuerza vital…).

En opinión de Laudan, debemos sustituir la verdad por la efectividad a la hora de resolver problemas como meta de la ciencia:

> La ciencia en su totalidad, desde mi punto de vista, consiste en una actividad dedicada a resolver problemas. [...] Si una teoría no consigue resolver problemas que juzgamos especialmente urgentes e importantes, debemos tratar de localizar otra teoría que resuelva esos problemas. [...] Pero el que una teoría bien comprobada falle en resolver determinados problemas que queremos resolver, no es razón para rechazar la teoría. Si una teoría es la mejor contrastada entre todas las rivales, es decir, entre todas las contrarias a ella que conozcamos, esa debe ser la teoría elegida entre todas las rivales. [...] Pero enfrentados ante una falsa elección, del tipo lo tomas o lo dejas, entre una teoría mal contrastada que resuelve el problema que nos interesa y una teoría bien contrastada, pero que no resuelve ese problema, la teoría de la inferencia deja muy claro cómo debemos proceder en nuestra elección (Laudan: 1993, 46-47).

Con su énfasis en la resolución de problemas, Laudan recuerda a un vendedor de grandes almacenes. Pero el éxito científico no equivale a la resolución de problemas, como el éxito de las mecánicas newtoniana y einsteiniana no resuelve el problema de la gravedad. Al menos, este neoinstrumentalismo pragmatista no se desplaza en

la órbita relativista: «Si esas creencias o teorías flotaran enteramente libres [...] y no reflejasen nada de nada sobre el mundo mismo, entonces sería impensable que nos permitieran manipular el mundo tan efectivamente como de hecho lo hacemos» (1993, 190).

7. A comienzos del siglo XXI la filosofía teoreticista de la física goza, paradójicamente, de una mala salud de hierro. Pese a que –como vamos a ver pormenorizadamente más adelante– diversas filosofías circularistas de la física han criticado contundentemente la substanciación de las formas teóricas que encierra, el teoreticismo sigue muy vigente. Por su componente idealista, los teoreticistas ofrecen una visión del quehacer de los físicos que lo asemeja al de los botánicos dirigidos por Espeusipo, escolarca de la Academia de Platón, que –según cuenta Aristoxeno– estaban teorizando sesudamente acerca de cómo clasificar plantas en géneros y especies, cuando de repente, tras arduas discusiones, lograron encontrar el lugar de la calabaza. Pero, aparte de construir teorías y modelos, la física manipula realidades. Aparte de cerebro y laringe, los físicos tienen manos y aparatos a mano...

Capítulo 6
Materialismo formalista

1. Salvo honrosas excepciones, la mayoría de filósofos de la ciencia se plantean primero qué es la física y, sólo posteriormente, qué son las matemáticas y qué papel desempeñan en la ciencia empírica. La filosofía de las matemáticas pierde así su autonomía y deviene *ancilla philosophiae naturalis*, vale decir, pasa a estar subordinada o supeditada a la filosofía de la física. No es, pues, de extrañar que la filosofía de las matemáticas se haya despreocupado y cultivado durante gran parte del siglo XX únicamente con dos fines. Por un lado, buscar los fundamentos de la matemática prosiguiendo la meta que se trazaron las tres escuelas fundacionales –cuatro si contamos el platonismo–. Por otro lado, como va dicho, con carácter ancilar o servil respecto de la filosofía de las ciencias naturales.

Pues bien, Gustavo Bueno invierte los términos, negándose a obviar el estudio del quehacer matemático: la teoría del cierre categorial, que apuesta por una opción circularista en filosofía de la física, sólo toma cuerpo tras identificar en qué consisten las matemáticas, es decir, tras el materialismo formalista. Y ello porque el materialismo filosófico considera las matemáticas como una ciencia más, como una ciencia material (no formal) por derecho propio, como la física o la química, y la aparición de la geometría griega como la revolución científica por antonomasia, a la altura de la acontecida en el siglo XVII.

2. Antes de desgranar las tesis del materialismo formalista y, por descontado, las de la teoría del cierre categorial, necesitamos explicar de manera preliminar varias distinciones del materialismo filosófico que vienen de antiguo: (a) la distinción ciencia/filosofía (o conceptos/ideas); (b) la distinción entre géneros de materialidad de la realidad; y, finalmente, (c) la distinción entre una capa básica y otra capa metodológica dentro del cuerpo de cada ciencia.

a. El núcleo del materialismo filosófico es, a nuestro entender, la respuesta a la pregunta «¿Qué es la Filosofía?». Mientras que la mayoría de las corrientes filosóficas del presente se resuelven en pura logomaquia doxográfica a propósito de lo que dijo o dicen que dijo Heidegger, Deleuze o Wittgenstein[8], como si filosofar consistiera en dialogar o entrar en conversación con ellos; el materialismo filosófico mantiene que la filosofía es *geometría de las ideas*, es decir, concretando la metáfora, consiste en racionalizarlas, en establecer un sistema entre las mismas, pero no unas ideas «flotantes» o celestiales, separadas de la realidad desde que fueron desprendidas por los «grandes» filósofos (idealistas), sino unas ideas terrenales, que aparecen incardinadas en los intersticios del mundo, entrelazadas con los conceptos científicos, técnicos, religiosos, políticos y mundanos. Pero la filosofía materialista no se reduce al deseo de ir a las cosas mismas, a la experiencia, como único baluarte contra la especulación gratuita y metafísica, porque se sustenta en la roca de ciencias como la geometría, la mecánica o la química. «El materialismo filosófico –apunta Bueno (1993, 28)– se apoya en las ciencias rigurosas, como en sus columnas más firmes y seguras». Esto no significa concebir la filosofía como mera reexposición de las ciencias positivas. Ni mucho menos. Hay conceptos que, por pertenecer simultáneamente a varios contextos científicos, técnicos o mundanos, rebasan esos círculos y precisan de un tratamiento como ideas. Por ejemplo: la idea de espacio desborda los conceptos geométricos (espacio topológico, vectorial…), físicos (espacio newtoniano, einsteiniano…) y biológicos (espacio vital, ecológico…) de espacio. Otro tanto podemos afirmar de la idea de tiempo o de causa. Las ideas son *lechuzas*, que *ven* a través de los conceptos

8 Bueno (1992, 396) coincide con Bertrand Russell en su dictamen sobre Wittgenstein II: «Wittgenstein no es ni Santo Tomás ni Kant, sino un escritor más bien "indocumentado", con ocurrencias o rasguños, algunos interesantes, y la mayoría pueriles o tópicos».

desde los que se despliegan («idea» proviene, en latín, de *spec*, ver, mirar). Los conceptos son, en cambio, águilas, que *agarran* trozos de la realidad circundante («concepto» deriva de *capere*, agarrar, capturar). La filosofía –como saber de segundo grado– se ocupa de *ideas* y las ciencias –los saberes de primer grado– trabajan con *conceptos*. Las ideas atribuidas a la filosofía poseen, pues, un carácter transversal, puesto que se forman sobre conceptos de categorías diferentes.

Por de pronto, esta distinción implica otra no menos sutil: si las ideas filosóficas brotan de los conceptos científicos, la filosofía es posterior a la ciencia. Esto es, la filosofía no es la madre de la ciencia (una madre a la que, como ironiza Gustavo Bueno, después de dar a luz, se la jubila), porque la filosofía presupone las ciencias. Precisamente, la filosofía nace, en Grecia, a partir de la geometría. ¿Hará falta que recordemos el lema de la Academia de Platón? «Nadie entre aquí –rezaba el frontón de la Academia– sin saber geometría». Por su parte, las ciencias nacen de las técnicas, de las artesanías. Así, la geometría se originó a partir de las prácticas de los agrimensores, de la necesidad de volver a medir los campos inundados por las crecidas del Nilo, y no a partir de los pensamientos de los ociosos sacerdotes egipcios o de las doctrinas de los pitagóricos.

En general, el materialismo filosófico distingue cuatro modulaciones de «ciencia», a saber: (i) *ciencia* como *saber hacer*, cuyo escenario sería el *taller* (estamos hablando de la ciencia del herrero o del carpintero, de las técnicas); (ii) *ciencia* como *sistema ordenado de proposiciones derivadas de principios*, cuyo escenario sería la *academia* o *escuela* (hablamos tanto de la geometría euclídea como de la física aristotélica o la teología escolástica); (iii) *ciencia* como *ciencia positiva*, cuyo escenario es el *laboratorio* (mecánica, termodinámica, biología molecular, &c.); y (iv) *ciencia* como *extensión de la ciencia positiva a la ciencia humana* (antropología, lingüística, &c.). A día de hoy, hay que tomar como referencia obligada la tercera acepción, que cubre tanto a las ciencias físicas, incluyendo la tecnociencia, como a ciencias que antes estaban encuadradas en la segunda modulación (las ciencias matemáticas cayeron del segundo al tercer cajón).

b. La segunda distinción implícita es de carácter ontológico. Desde el materialismo filosófico, la materia (ontológico-general) M se despliega en *tres* géneros de materialidad (ontológico-especial) que

integran nuestro *mundus adspectabilis*, el mundo que vemos y tocamos M_i. El primer género de materialidad M_1 refiere a todas las realidades exteriores, que caen en el ámbito del espacio (cuerpos, coches, árboles, rocas...). El segundo género M_2 remite a las realidades interiores, dadas en el tiempo, y que tienen que ver con la vida psicológica o etológica (vivencias, percepciones, conductas...). Y en el tercer género M_3 se cuentan aquellas realidades que no son exteriores ni interiores, es decir, que no siendo físicas tampoco son meros contenidos mentales (los objetos abstractos). No son tres mundos, como quería Popper, sino un único mundo con tres dimensiones materiales distintas (materialidades físicas, psicológicas y abstractas). Además, el materialismo filosófico se opone a cualquier clase de reduccionismo que trate de explicar la pluralidad heterogénea e inconmensurable de la materia (*partes extra partes*) en términos de uno de sus géneros, ya sea M_1 (el materialismo grosero decimonónico), M_2 (el idealismo subjetivo) o M_3 (el idealismo objetivo). Porque es a partir de la dialéctica entre estos tres géneros de materialidad ontológico-especial irreductibles entre sí como se construye por regresión la idea límite crítica de materia ontológico-general M, que es ella misma la idea del hacerse y deshacerse del mundo, resultado de la superación de toda posible determinación positiva del ser. Esto conlleva la tesis crítica de que los tres géneros de materialidad no tienen por qué agotar la realidad o, dicho de otra manera, que la realidad en general M desborda la realidad a escala operatoria –antrópica o zootrópica– M_i, porque también designa a todas esas posibles realidades transmundanas que los seres humanos no hemos percibido, medido, ni atribuido una forma. La materia M del plano de la ontología general no es en el materialismo filosófico previa a las materialidades M_i del plano de la ontología especial, sino que se obtiene a partir de un proceso de lisado de las mismas.

Pero, ¿cómo se coordina esto en ciencia? Consideremos –como hace Bueno (1992, 1424-1425)– una masa newtoniana con movimiento rectilíneo uniforme. Proyectada sobre un plano, su trayectoria determina una recta de trazo continuo. En un momento dado, por influjo de una fuerza constante, se desvía, tomando la forma de una línea parabólica. Trazamos con «línea punteada» la trayectoria inercial de la cual se ha desviado nuestro cuerpo de referencia. La trayectoria parabólica

es primogenérica, porque es empírica; pero ¿cómo interpretar la línea punteada? Esta trayectoria no es primogenérica ni segundogenérica, porque no es física ni mental. Es, por tanto, terciogenérica. Es abstracta, pero objetiva y real. No obstante, volveremos a abordar más adelante la delimitación del estatus ontológico de M_3 en relación con los objetos científicos.

c. A este cuadro que hemos trazado hay que añadir que el cuerpo de una ciencia –pongamos por caso la matemática– no es compacto, porque sus tejidos se disponen en varias capas. Podemos diseccionar los tejidos del cuerpo matemático en dos capas. Por un lado, una *capa básica*, de la que forman parte las definiciones, los axiomas, los teoremas, los ejemplos y contraejemplos probados, concatenados unos con otros. Por otro lado, una *capa metodológica*, cuyos tejidos se encuentran intercalados con los tejidos básicos, y que contiene una nebulosa de reglas metodológicas, consejos pedagógicos, cuestiones abiertas...

3. Apliquemos ahora este sistema de coordenadas a nuestra disputa sobre las matemáticas. A lo largo de las páginas previas, hemos comprobado cómo cada una de las teorías de la matemática (platonismo, logicismo, formalismo, intuicionismo) presenta dos momentos más o menos disociables: un primer momento, que corresponde a su fundamentación de las matemáticas (la conjuntivización del platonismo, la logificación del logicismo, el axiomatismo del formalismo, el constructivismo del intuicionismo); y un segundo momento, que corresponde a su idea de la matemática (realismo platónico y logicista, nominalismo formalista, conceptualismo intuicionista). Acogiéndonos a las distinciones (a) y (c), constatamos que ese primer momento consiste sobre todo en una metodología a seguir, inserta antes en la capa metodológica que en la capa básica de las matemáticas, y que ese segundo momento se concreta más bien en una filosofía de la matemática.

Durante la *crisis de fundamentos*, los matemáticos en activo en la capa básica escuchaban la bronca de sus vecinos del piso arriba (de la capa metodológica), a veces incluso subían a llamarles la atención, pero de *crisis* –y, sobre todo, en los *fundamentos*, en los cimientos– nada de nada. No había amenaza de derrumbe. La matemática se presentaba mucho más segura que los programas que pretendían fundamentarla. No en vano, las matemáticas estaban viviendo una

edad dorada durante el primer tercio del siglo XX, con espléndidos y fértiles avances (topología, teoría de la medida, análisis funcional...). Entonces, ¿por qué tanto ruido? Porque la mal llamada *crisis de fundamentos* era mucho más una *crisis de metodologías*, que estaba renovando la capa metodológica (antes de afectar, de modo más mediato que inmediato, a la capa básica). Como matiza Bueno (1992, 679-680):

> El formalismo de Hilbert podría interpretarse como una expresión de la "capa metodológica" de unas matemáticas formalistas que postulan un "cierre axiomático" y que no admiten el *ignorabimus* que Du Bois-Reymond había postulado para las ciencias naturales: "Todo problema matemático –dirá Hilbert– debe poder ser resuelto: en matemáticas no cabe un *Ignorabimus!*". Ahora bien, si este postulado hilbertiano se interpreta como un postulado metodológico, no básico, podemos decir que cuando Gödel formula, en los años 30, su teorema de indecidibilidad, tampoco abre una "revolución" en matemáticas; tan sólo, ya es bastante, limita las pretensiones de su "capa metodológica" tal como la formuló David Hilbert.

Por consiguiente, con palabras de Bueno (1979a, 22), «es pura pedantería la tendencia a suponer que la "crisis de fundamentos" de las matemáticas (crisis que se dibujaba en el terreno de la metamatemática, de la lógica) constituía una efectiva amenaza contra su edificio secular y que las soluciones lógico formales de las antinomias apuntalaron el presunto edificio en ruinas (porque las matemáticas seguían tranquilamente su curso sin apercibirse a veces de esas supuestas grietas)». De hecho, Javier de Lorenzo (1998, 13-14) coincide en cuestionar este extendido mito:

> Existencia de una crisis de fundamentos que, sin embargo, no impidió que el hacer matemático global propiciara uno de los mayores desarrollos conocidos en el hacer matemático, desarrollo que se ha mantenido y se mantiene hasta ahora. [...] No hubo ni hay crisis de fundamentos en la praxis matemática, sino que en dicha praxis se producen inversiones respecto a los tipos de hacer anteriores. Inversiones tanto epistemológicas como metodológicas.

4. Aceptemos, pues, que el debate sobre los fundamentos en crisis era más filosófico y metodológico que propiamente matemático, sin perjuicio de los desarrollos a que dio lugar (por ejemplo, la matemática intuicionista). ¿Qué balance podemos hacer? Resumamos de pasada los principales problemas que afectaron a cada teoría de la

matemática tanto en su vertiente filosófica como en su vertiente metodológica. El platonismo resulta insostenible por la preponderancia del infinito en matemáticas, que descarta cualquier realismo ingenuo, ya que –como Hilbert entrevió– del infinito no poseemos intelección completa alguna. Además, el platónico, que –como dice Quine (2002, 186-187)– es capaz de soportarlo todo menos la contradicción, hubo de hacer frente a las paradojas, difíciles de aceptar para quien cree que la matemática es obra divina y, por tanto, perfecta. El logicista, primo carnal del platonista (ambos comparten la doctrina realista a propósito de los *universalia*), intentó desactivarlas reduciendo la matemática a la lógica, pero... ¿qué es la lógica? Decidido a cortar por lo sano, el intuicionista hizo suyo el conceptualismo, pecando de excesiva vaguedad en su metafísica de la intuición, y acabó mutilando la lógica y la matemática heredadas, ya que la matemática constructivista tira por la borda la mayoría de resultados de la matemática clásica. Finalmente, el formalista, horrorizado, abrazó el nominalismo, pero en su persecución de una matemática segura, entendida como ciencia de los sistemas axiomáticos, tropezó y se dio de bruces con los Teoremas de Gödel, que –siguiendo una comparación de Quine (2002, 58)– son a las matemáticas lo que el Principio de Incertidumbre de Heisenberg es a la física.

Sin embargo, el formalismo hilbertiano no es mero bizantinismo. El formalista tiene la ventaja de que, como el logicista, puede oponerse a la decapitación de la matemática por el intuicionista y, como éste, puede enfrentarse a la ascensión de la matemática a los cielos platónicos. Además, el formalista goza de gran libertad creativa en las matemáticas puras. Por desgracia, nuestro héroe tiene la contrapartida de que ha de vaciar de referencia todas las matemáticas, sosteniendo –como condensa Quine (2002, 54)– que no son más que «un juego de notaciones no significantes». Para el formalista estricto, toda teoría matemática sólo es una combinación de signos sin significado, como un jeroglífico desprovisto de ulterior sentido. El Alumno Kapa de Lakatos (1994) lo recordaba así: «si quiere usted que las matemáticas tengan sentido, ha de abandonar la certeza; pero si quiere usted certeza, elimine todo significado». Al matemático formalista se le paga para que deduzca formalmente y para que demuestre la consistencia de sus sistemas formales. Dejando de lado la brecha abierta por Gödel con respecto a

la imposibilidad de demostrar la consistencia de los sistemas formales mínimamente interesantes, hay que decir que el formalismo ha de sortear otra gran dificultad: no encaja con el quehacer cotidiano del matemático, con su faena de cada día.

Si entramos en cualquier clase o seminario de matemáticas (es decir, en donde se *hacen* matemáticas, porque los artículos no son más que los productos acabados de ese hacer), nos asombraremos de la cantidad de razonamientos *no* formales que los matemáticos en activo realizan. ¿Qué demuestran los Teoremas de Limitación de Gödel para el matemático corriente? Que la lógica matemática y la teoría de conjuntos son incapaces de reducir de modo efectivo a todas las otras ciencias matemáticas (topología, análisis, geometrías...), que tienen ritmos propios. Para René Thom (1985, 30), estos resultados sólo demuestran que es inútil trabajar en ciertas direcciones, que la matemática no es la ciencia de los sistemas formales. Son guardacantones que nos indican que no hay que salirse de la carretera. No se puede ni se debe formalizarlo todo. Sería como el alpinista que, para elegir un punto de apoyo de escalada, examinase con microscopio electrónico el suelo que pisa. Es más, como patentiza la historia de los números, la axiomática formalista sólo es posible si previamente ha habido una fase de manejo operacional del modelo, es decir, sólo se pueden listar los axiomas si ya se posee una ligera idea del constructo que se tiene entre manos (Ferreirós: 1991, 129 n. p. 88). Pese a Hilbert, el método genético precede al método axiomático, pues permutarlos –como Russell ironizaba– ofrece la misma ventaja que el robo sobre el trabajo honrado (la axiomática se arroga de inmediato todo lo construido). En palabras de Manin (1981, 173): «los axiomas de la teoría de conjuntos (incluso los axiomas lógicos) se han obtenido como resultado del análisis de las demostraciones no formales». Además, cuando el matemático normal razona sobre el continuo de números reales, jamás piensa en modelos no estándar –numerables– del no-numerable continuo (que existen si se trabaja axiomáticamente y que, para un irredento formalista, son tan válidos como el modelo estándar). Damos la palabra a Manin (1981, 120): «desde el punto de vista del topólogo o analista, para el cual el continuo es una realidad operacional, la existencia de sus modelos numerables significa simplemente pobreza del lenguaje formal como medio de imitación de los razonamientos no

formales». Nos aproximamos, pues, a la imagen que queremos proyectar: la matemática como ciencia material, no formal.

El formalismo, con su insistencia en que la matemática ha de fundarse a sí misma, recuerda al Barón de Münchhausen cuando él mismo quería sacarse del pantano tirándose de los pelos. A algunos matemáticos les parece que ganan seguridad al decir que sólo están manipulando concatenaciones de signos sin sentido; pero, una de dos: o bien la matemática es consistente y, entonces, tiene un modelo que la dota de significado, una cierta estructura que rellena el vacío de significado; o bien es contradictoria y, en ese caso, por muy formalistas que seamos, deja de tener interés. Hay que lavarle la cara al formalismo, quitarle el *rigor mortis* y ponerlo a punto para la matemática de nuestro tiempo...

5. Gustavo Bueno apuesta, decididamente, por ello. Bueno (1992, 692) sostiene que el *materialismo gnoseológico* se hizo presente, precisamente, en el formalismo de Hilbert. Y Bueno (1979a, 29) mantiene que el *materialismo formalista* constituye una radicalización del formalismo. El materialismo formalista y el formalismo están cerca en cuanto filosofía de las matemáticas, pero lejos como metodología de la matemática. No comparten la obsesión fundamentalista. El error que cometen las líneas formalista, intuicionista y logicista es presuponer que las ciencias se fundan sobre sus propias fundamentaciones. El hecho de que haya varias es síntoma de que no hay fundamento, sino fundamentos. Como señala Paul Benacerraf (1965): los reduccionismos lógico-conjuntistas son criticables porque son posibles diferentes reducciones simultáneas. Por ejemplo: puede definirse $0 = \varnothing$ y $n+1 = \{n\}$, a lo Zermelo; pero también puede definirse $0 = \varnothing$ y $n+1 = n \cup \{n\}$, a lo Von Neumann. ¿Y cuál es la definición «buena»? Desde el materialismo formalista, en consonancia con Poincaré, resulta inconcebible la matemática como un templo, como un único edificio. La arquitectura de las matemáticas se asemeja más a una ciudad, con sus avenidas, barrios, zonas nuevas en construcción, zonas viejas abandonadas y cerradas por derribo, &c.

6. El materialismo formalista radicaliza el formalismo al reconocer que los signos materiales de carácter tipográfico son los términos *fisicalistas* de las ciencias formales. El materialismo formalista «coincide con el formalismo de Hilbert en su momento negativo (la “desconexión semántica” respecto de todo contenido exterior a los símbolos),

pero en cambio no comparte la interpretación que el formalismo dio a esta desconexión –la teoría de las fórmulas como "fórmulas vacías" destituidas de todo contenido y significativas únicamente en virtud de su juego interno en el sistema axiomático– puesto que, según su interpretación, el materialismo formalista reconoce a los símbolos un contenido material, a saber, la propia entidad de sus *significantes* y toda la estructura geométrica (ordenaciones, permutaciones a derecha e izquierda, &c.) que en su propia realidad de significantes ha de ir implicada» (Bueno: 1979a, 29). La lógica o la matemática no guardan un significado oculto o latente, más allá de la manipulación operatoria de su simbolización escrita con tinta en el papel o con tiza en la pizarra. Pero éste es, precisamente, su significado. Los signos matemáticos son auto-referentes[9]. «La "desconexión semántica" del formalismo no habría que entenderla como una evacuación de toda interpretación, sino como la evacuación de toda interpretación no contenida en el *ejercicio* mismo de los significantes» (Bueno: 1979a, 29). Por ejemplo, no es que «$\$^7$» (la esfera topológica de siete dimensiones) no refiera a nada (descartamos, por descontado, que refiera a alguna suerte de esfera uránica), sino que se refiere a sí misma, a sus menciones, en suma, a su materialidad tipográfica. La matemática es, pues, una ciencia de objetos que se derriten a 100ºC. Entiéndase, si viviéramos en el centro del Sol, no podríamos hacer matemáticas, con lo que las matemáticas no existirían, salvo que se sostenga que son algo más que un producto humano (¿pero qué?). No es casualidad que el gran lógico Ernst Schröder introdujera el siguiente axioma en su *Manual de Aritmética y Álgebra* de finales del XIX: «El principio en el que estoy pensando podría bien llamarse axioma de la adherencia de los signos... Nos da la seguridad de que en todas nuestras argumentaciones y deducciones, los signos permanecen en nuestra memoria o –aún más firmemente– sobre el papel» (Frege: 1996, 37).

Hemos *materializado* el *formalismo*. Es el *materialismo formalista*. Este formalismo materialista recupera el núcleo ontológico del formalismo hilbertiano («a nuevas ideas corresponden nuevos signos»), pero sin compromisos gnoseológicos idealistas. Soslaya la teoría de las

9 Brevemente: los signos de las matemáticas son tales que su significante es causa de su significado (*tautogoría*) y recíprocamente (*autonimia*), luego son símbolos *autogóricos*.

fórmulas «vacías», dotando de un significado material muy concreto a cada fórmula: el que se hace presente en la propia física de sus signos tipográficos. Por ejemplo: a través de la permanencia de la figura *x* en sus menciones en una fórmula cualquiera como $\forall\Phi\forall x(\Phi(x)\vee\neg\Phi(x))$. A nuestro entender, Velarde (1992, 118) acierta al señalar que la causa de esta malformación en la concepción de las matemáticas radica en que la mayoría de los filósofos de las matemáticas *contaron con* la *suppositio materialis* pero no *repararon en* ella. La razón es, como explicaremos, que estos filósofos pusieron entre paréntesis la corporeidad del matemático y encerraron los procesos matemáticos en círculos puramente mentales, olvidando que ni el geómetra puede prescindir de las figuras dibujadas ni el algebrista puede hacerlo con las marcas escritas. Así, Kolmogorov solía decir: «mi lápiz pertenece a las matemáticas».

Bueno (1979, 16) encabezaba su artículo «Operaciones autoformantes y heteroformantes» citando el proverbio oriental: «Cuando señalas con tu dedo a la Luna el estúpido mira atentamente al dedo»; y añadía: «En este artículo vamos a defender la tesis de que en la *estupidez* de la lógica formal [y la matemática] occidental ante sus símbolos algebraicos es donde reside su sabiduría». Hilbert lo expresaba lapidariamente: «en el principio fue el signo». Quitad a la matemática sus signos y desaparece, decía el Padre Balmes. De lo que se trata es de volver a medir, por así decirlo, el poder de nuestras runas lógicas y matemáticas.

7. La matemática y la lógica (que en principio no tendría ninguna clase de ascendiente sobre las matemáticas) se nos aparecen, desde el materialismo formalista, como construcciones con términos *físicos* (símbolos formales, numéricos, algebraicos, geométricos...) constitutivos de sus campos respectivos. Los lógicos y los matemáticos operan *quirúrgicamente* (*manualmente*) con ellos, manipulándolos hasta establecer relaciones precisas. Los teoremas son, por tanto, relaciones entre términos del material tipográfico construidas mediante las operaciones de los lógicos y matemáticos corpóreos.

Las leyes lógicas o matemáticas no están depositadas en el pensamiento, sino en sus propias manifestaciones tipográficas. Desde luego, la lógica y la matemática son *metros* o *cánones* de la racionalidad, pero no porque sean reflejos mentales de la lógica o la matemática

universales o porque sean la trama a priori del Cosmos (lo que es pura mística), sino porque son artefactos fabricados por los hombres sobre el papel o la pizarra que siempre portamos *a mano*, como si se tratara de un segundo juego de *manos*. El privilegio de las formas lógicas o matemáticas no descansa en ningún postulado platónico o pitagórico, sino en su extremada sencillez. Son marcas practicadas con las manos.

Por ejemplo, las clases de objetos de que trata la aritmética o el álgebra son las grafías –manchas de tinta o tiza– a escala corporal de que están compuestos los signos y las fórmulas. Análogamente, Bueno (1982, 168-169) señala:

> El nivel fisicalista de la geometría de Euclides, para mantenernos en un espacio clásico y no confundirnos con otros problemas, sería precisamente el de los dibujos trazados en los planos o en las superficies esféricas, o donde fuese, en la medida en que los dibujos son fenómenos; son fenómenos que por sí mismos no dicen nada, como es natural, son fenómenos que luego tienen que ser contrastados con otros fenómenos (son fenómenos porque, por ejemplo, los *redondeles* no son circunferencias pues la «circunferencia esencial», unidimensional, no puede dibujarse, sería invisible). [...] La diferencia con la ciencia natural tendría que ver con esto, en tanto las ciencias formales trabajan con elementos principalmente fabricados por el propio hombre. [...] Son las propias figuras, creadas a una escala determinada (que además es una escala tipográfica, trazada en las dimensiones de un plano, &c.), aquellas que, para utilizar metodología kantiana, resultan trascendentales, en el sentido de que las llevamos siempre con nosotros, porque están a escala de nuestra mano, vinculadas con las figuras que tienen significado macroscópico.

«¿Acaso la geometría –se pregunta Bueno (1995, 42)– no incluye en su ámbito a los modelos de superficie, a las reglas y los compases?». ¿Acaso los *Elementos* –añadimos nosotros– no son la sistematización de las construcciones y los dibujos geométricos realizados por Euclides y los geómetras griegos? Sólo desde las figuras de los triángulos rectángulos dibujados en el plano del papel, la pizarra o la arena (que son «apariencias» de triángulos, como el papel, la pizarra o la arena son «apariencias» de planos) pudo Euclides establecer la verdad de la identidad entre la suma de las áreas de los cuadrados construidos sobre los catetos y el área del cuadrado construido sobre la hipotenusa. Es más, podría decirse que la aritmética y el álgebra no son sino un tipo de geometría, por cuanto lo que las construcciones sobre la pizarra son para ésta, son los cálculos sobre el papel para aquéllas.

Desde una perspectiva materialista, no existe una lógica formal separable de todo material, y válida en todo mundo posible. La llamada lógica *formal* es, en realidad, una lógica *material*, que va referida al único mundo existente y cuyas formas son, en realidad, los propios materiales tipográficos, metálicos (si estamos con circuitos lógicos), informáticos (si estamos con programas lógicos), &c. Esta lógica puede, eventualmente, ser utilizada como modelo racional para analizar diversas situaciones, pero no porque la conexión entre el lenguaje formal y el lenguaje natural sea de tipo género-especie (es decir, de todo a parte, como si la forma lógico-matemática subyaciera a todos los lenguajes ordinarios), sino porque es de tipo especie-especie (es decir, de parte a parte, de un lenguaje práctico a otro menos cómodo).

Bueno subtitulaba su artículo «Operaciones autoformantes y heteroformantes» de 1979 como «Ensayo de un criterio de demarcación gnoseológica entre la lógica formal y la matemática». Bueno (1979a, 21) proponía una frontera que, en cierto modo, cabe decir que es la reconstrucción gnoseológica de la cerca levantada por George Boole en *Las Leyes del Pensamiento* (idempotencia en lógica / no-idempotencia en matemática). Según Bueno (1979a, 38), como captara Boole, la lógica tendría más que ver con *operaciones autoformantes* (es decir, con aquellas operaciones que incluyen la reproducción o reiteración de uno o más de los términos operados): $\neg(\neg\varphi) = \varphi$; $A \cup A = A$; $A \cap A = A$; &c. Y, a diferencia de la lógica, la matemática acusaría mayor presencia de *operaciones heteroformantes* (es decir, no autoformantes): $7+5 = 12$; $2 \cdot 2 = 4$; $A \cup B = C$; &c. Esto explica por qué, al considerar el axioma (autoformante) $x \cdot x = x$ del álgebra lógica booleana, la lógica se aparta de la matemática (el axioma del álgebra matemática ordinaria $x \cdot x = x^2$ es heteroformante).

8. Interesa poner de relieve que, desde el materialismo formalista, tanto la lógica como las matemáticas son ciencias materiales, no formales. Desde la teoría del cierre categorial, toda ciencia es, por construcción, ciencia material. Ninguna ciencia es formal. Y no tanto por cuestiones ontológicas cuanto por cuestiones de índole gnoseológica, que tienen que ver con la praxis: como toda ciencia, las ciencias formales son, en realidad, ciencias materiales, porque su construcción exige que el científico realice operaciones con algo, con términos físicos. El dilema está servido: si una disciplina es ciencia, no es formal; y si es formal, no es

ciencia. Esto se entiende bien considerando la teología o «ciencia» de Dios: por su carácter eminentemente formal (Dios es forma separada de toda materia), resultó imposible que se constituyera como ciencia, al contrario que la física o la química. No existen, pues, las ciencias formales. La ocurrencia de una ciencia formal, ocupada en el estudio de la forma –lógica, matemática, especulativa– sin materia, resulta especialmente metafísica al llevar a cabo la hipóstasis de la forma en la idea absurda de forma pura o inmaterial. Las ciencias matemáticas se articulan como construcciones con términos físicos de características muy especiales: números, variables, rectas, polígonos, circunferencias, esferas... donde estas entidades son siempre manejadas –manipuladas– como signos, líneas o redondeles corpóreos (cuyas imperfecciones son neutralizadas al establecerse cada teorema matemático).

Pero, entonces, si conculcamos la distinción ciencias formales / ciencias naturales, ¿dónde radica la diferencia entre ambas? En que los objetos que forman parte del campo de la lógica y la matemática están hechos por el hombre, mientras que en general no ocurre así con los de la física o la geología (que parte de los planetas o de las rocas). Las diferencias gnoseológicas entre ambas clases de ciencias no son tan acusadas como las pintan. De hecho, en los últimos cincuenta años, el muro entre las ciencias no-empíricas y las ciencias empíricas se ha ido viniendo progresivamente abajo. Esta dicotomía metafísica se ha diluido por irreal gracias a los trabajos, entre otros, de Willard van Orman Quine, Hilary Putnam, Imre Lakatos, Philip Kitcher, Javier de Lorenzo, &c. Asimismo, los nuevos enfoques naturalistas, en contraposición a los fundacionales, enmarcan el conocimiento matemático en el ser natural del hombre, centrándose unos en las bases biológicas o psicológicas y otros en los aspectos sociales y culturales.[10] Putnam (1979, xi), por ejemplo, proyecta una imagen cuasi-empírica de las matemáticas:

10 Aunque llevados por el entusiasmo frente a las concepciones apriorísticas de la matemática, algunos terminan deslizándose hacia el «cerebrocentrismo» y otros, como el sociólogo David Bloor, hacia el relativismo etnomatemático ligado al constructivismo social. Bloor (1998) se atreve con el lecho más firme de la ciencia, con el sancta sanctorum de las matemáticas, y apoyándose en el psicologismo de John Stuart Mill, concibe la matemática como una colección de convenciones sociales negociadas a partir de la aritmética con guijarros. Pero Bloor olvida que la matemática no presenta una variabilidad sin límites (hay ciertos invariantes); y es incapaz de dar cuenta del anudamiento interno de los teoremas, porque pasa por alto que los signos matemáticos (el 1, el 2 o las *x*) se han segregado de los guijarros, las peras y las manzanas.

> He llegado a la conclusión de que las diferencias entre las matemáticas y la ciencia empírica han sido notablemente exageradas. En matemáticas también hay una interacción de postulados, pruebas cuasi-empíricas y revoluciones conceptuales que conducen a la formación de paradigmas contextualmente *a priori*. Las matemáticas no son una ciencia experimental; esta es la primera cosa que todo filósofo aprende. Pero la adopción del axioma de elección como un nuevo paradigma matemático fue un experimento, incluso si el experimento no fue desarrollado por hombres con bata blanca en un laboratorio. Y experimentos similares pueden encontrarse regresando a la historia de las matemáticas.

Aún más, Putnam (1979, 61 y ss.) imagina unos marcianos cuyas matemáticas dan por probada la Hipótesis de Riemann al haber constatado computacionalmente que ningún cero de la función zeta de Riemann se sale de la recta $Re(z) = ½$ (lo que se ha verificado para los primeros 100.000 millones de ceros). Ante la sorpresa que esto nos causaría cuando nos lo contaran, los matemáticos marcianos podrían replicar que nosotros mantenemos el mismo consenso para la Conjetura de Goldbach (que se ha verificado empíricamente pero permanece indemostrada) o que hicimos lo mismo con el axioma de elección: antes de que lo introdujera Zermelo, ya lo usaban Cantor, Bernstein, Schoenflies... Es más, el arranque de la lógica intuicionista (la revisión de la ley del tercio excluso) no fue, según Quine, sino un cambio del mismo cariz que el que practicó Kepler con Ptolomeo, o Einstein con Newton.

Sólo desde una filosofía desmitificadora de las matemáticas puede aspirarse a comprender el hacer cotidiano del matemático y a dar razón de ciertos sucesos, inexplicables desde otra perspectiva. A saber: que la demostración original del Teorema de Pitágoras no se ajustaba a los cánones euclídeos; que Gauss o Riemann llegaron a demostrar algún teorema matemático sirviéndose de consideraciones físicas (el origen del Teorema de la Aplicación Conforme, por ejemplo, está en el electromagnetismo); que el hecho de que una función continua que toma valores de signo contrario en los extremos de un intervalo ha de anularse en algún punto del interior no necesitó de demostración hasta bien entrado el siglo XIX; que el Teorema de Dualidad de Poincaré se ha utilizado implícita o explícitamente durante más de cien años sin que nadie fuera capaz de probarlo hasta mediada la década de 1980; que la entrada del ordenador, del *intruso* (como lo llama Javier

de Lorenzo), ha afectado a las matemáticas estimulando una «matemática experimental», los métodos numéricos y las demostraciones asistidas por ordenador (como la del Teorema de los Cuatro Colores); que el Nudo de Perko está mal clasificado topológicamente... La historia de las matemáticas está repleta de reconceptualizaciones de nociones expuestas con anterioridad a través de un proceso de tanteo de índole experiencial.

9. Finalmente, indiquemos que una concepción de la matemática cercana al materialismo formalista fue la que mantuvo la Escuela Soviética (Aleksandrov, Kolmogorov, Gelfand, Laurentiev...) al abordar el contenido de la matemática, sus métodos y su significado:

> Idealistas y metafísicos no sólo se ven sumidos en un mar de confusiones al intentar responder estas cuestiones básicas, sino que llegan a distorsionar completamente la matemática, volviéndola literalmente del revés. Así, viendo la extrema abstracción y fuerza lógica de los resultados matemáticos, los idealistas imaginan que la matemática brota del pensamiento puro. [...] La historia de los conceptos de la aritmética [de los números y los distintos símbolos] muestra cuán equivocado es el punto de vista idealista de que surgen del "pensamiento puro", de la "intuición innata", de la "contemplación de formas a priori", o algo similar (Aleksandrov, Kolmogorov, Laurentiev & alia: 1994, 23 y 35).

No en vano, todos aprendemos a contar con las manos, y casi todos los sistemas primitivos de numeración están referidos a los dedos (la base más utilizada es 10 por ser el número de dedos de las manos):

> El sistema decimal de numeración no es un resultado de la "razón aritmética pura", sino de la razón de un animal pentadáctilo. Por eso hablamos de números *dígitos* y todavía en la numeración romana se conservan, como emblemas icónicos, esquemas de la propia mano humana (V, X, &c.) (Bueno: 1985, 11).

De hecho, el término *cálculo*, presente en expresiones como «cálculo diferencial» o «cálculo integral», proviene del latín *calculus*, que significa guijarro y remite a las piedras pequeñas que se usaban para contar (todavía hoy este significado pervive para denominar las piedras que se forman en el riñón). Análogamente, la palabra *línea* quería decir, en griego, hilo de lino; y *punto*, en latín, punzada o picadura.

También Ian Hacking ha desgranado ideas similares. Hacking (2009, cap. 2, y 2011) exalta la importancia de las manos y no sólo de la mente para aquello que hace que las matemáticas sean matemáticas.

Son las manos las que, armadas con diversos instrumentos como estiletes o cuñas, dibujan las grafías matemáticas sobre el papiro, la arena o las tablillas de barro. Siguiendo a George Lakoff y Rafael E. Núñez (2000), que están en la estela de Piaget, Hacking insiste en cómo el cuerpo interactúa con el mundo durante la formación de los conceptos matemáticos originarios. El concepto de número surgiría contando, ordenando o coleccionando; las formas geométricas, con el movimiento o la construcción; las nociones probabilísticas, manipulando ciertos dispositivos aleatorios (dados, astrágalos, &c.). Desde luego, el concurso de las habilidades cerebrales es imprescindible, pero la neurociencia y las ciencias cognitivas no son capaces de explicarnos el origen de las matemáticas por sí solas. Para Hacking, hay que apelar a la historia y a la antropología filosófica, porque la ciencia no es algo individual sino grupal. En el caso de las matemáticas, ligado a la aparición de la técnica de la escritura para hacer listas o diagramas. Es más, en el caso de la geometría griega, la noción de demostración sería inseparable de la *polis*, de la sociedad discursiva en que creció: el desarrollo de la oratoria y la retórica habría incitado a buscar pruebas apodícticas, y la repetibilidad de las demostraciones geométricas constituiría una forma de persuasión de lo más efectiva. Hacking sigue en esto al historiador Reviel Netz (1999) y subraya, apoyándose en sus estudios sobre la matemática griega, el papel de la combinación de texto y diagramas en las demostraciones geométricas.[11]

En su fascinante comparación entre la estructura de un teorema de Euclides y un soneto de Lope, Bueno (2009a) también ha llamado la atención sobre la involucración entre discurso y figuras en los teoremas geométricos. Para Bueno, las figuras que acompañan la exposición no

11 Mucho antes, Charles *Santiago* Peirce había dejado escrito: «Todo el razonamiento matemático es diagramático [...] Por razonamiento diagramático entiendo razonamiento que construye un diagrama de acuerdo con un precepto expresado en términos generales, realiza experimentos sobre ese diagrama, observa sus resultados, se asegura de que experimentos similares realizados sobre cualquier diagrama construido de acuerdo con el mismo precepto tendrían los mismos resultados, y expresa esto en términos generales» (2007, 45). En esta línea, Javier de Lorenzo (1994) ha insistido en que el discurso matemático combina el lenguaje natural con ideogramas, frente a la concepción que lo reduce a un lenguaje formal y aspira a una geometría sin figuras o a un álgebra sin fórmulas dibujadas (materializadas) en la hoja bidimensional o el encerado. Para De Lorenzo, el hacer matemático no parte del discurso hablado para una posterior transcripción gráfica, sino que su punto originario y constitutivo es el ideograma, y de aquí el concurso imprescindible –para nada auxiliar– del papel o la pizarra (sin perjuicio de que ideograma y texto terminen conformando una unidad).

son muletas, concesiones didácticas al lector que podrían suprimirse; porque la prosa gráfica no puede deducirse de la proposición enunciada, y en ella descansa precisamente la racionalidad geométrica (que no puede comprenderse al margen de toda materia). El *logos* de un teorema geométrico reside precisamente en el ensamblaje de líneas, triángulos o cuadrados realizado por el geómetra. Sin este último, claro, la construcción carece de sentido; pero, de modo conjugado, el razonamiento flotaría en el vacío sin las figuras trazadas para aprehenderlo, pues no hay contenidos mentales originarios (Bueno: 2005, 16). Pero Bueno (2009b) critica a Netz (1999) que funde la generalidad de los teoremas geométricos en la identificación de unos diagramas con otros, en la fotocopia o reproducción mecánica del diagrama originario, una especie de inducción empirista a lo Mill. La universalidad de los resultados geométricos no descansa sobre una identidad externa, entre figuras clónicas, sino sobre una identidad esencialmente interna, entre los cursos operatorios que se realizan sobre cada figura. El Teorema de Pitágoras es repetible no porque lo sean las figuras, porque el «molino» pueda copiarse, sino porque los procesos de repetición están ya dados en la construcción operatoria del diagrama original: «sea una recta cualquiera», «tómense dos puntos cualesquiera», &c. En resumen: «La identidad en la que hacemos consistir su verdad tiene lugar en el ámbito de cada diagrama, y no en el ámbito de la semejanza entre los diagramas ulteriormente repetidos» (2009b, 2).[12] El proceso de demostración contiene, al cerrarse, los principios de su recurrencia «católica» (es lo que más adelante explicaremos como teoría de la verdad como identidad sintética). Se trata, en suma, de solventar la famosa paradoja debida a Poincaré: «la geometría es el arte de razonar bien con figuras mal hechas».[13]

---

12 Análogamente, la ligazón del sistema de numeración decimal al material «quirúrgico» no destruye su validez objetiva, no reduce los números a la condición de trasuntos de dedos, porque –como subraya Bueno (1985, 11)– estos *dígitos* pueden a su vez absorberse en otros sistemas de numeración (en otras bases).

13 Otros autores que quizá se desplazan en la órbita del materialismo formalista son John Bigelow (1988), que en *The Reality of Numbers: A Physicalist's Philosophy of Mathematics* propone un realismo inmanente basado en concebir la matemática como el estudio de relaciones –universales– entre cosas físicas –contingentes–, o –según propone Pérez Herranz (2001, 53)– Brian Rotman con el libro *The Ghost in Turing Machine: Taking God Out of Mathematics and Putting the Body Back In* (sin olvidar las ideas que Javier de Lorenzo ha hilado con respecto al «hacer constructivo» en matemáticas).

Capítulo 7
Gnoseología analítica de las matemáticas

1. La teoría del cierre categorial hace suyas las tesis del materialismo formalista y, tomándolas como premisas, intenta reconstruir el desenvolvimiento de las matemáticas. Mediante el *regressus* hemos ido desde la matemática a las filosofías de la matemática y hemos tomado partido por una de ellas, por el materialismo formalista, que podemos resumir de modo muy sumario: los matemáticos no llevan bata blanca como los físicos, pero también son de carne y hueso; sus átomos son los signos; su laboratorio, el papel, la pizarra o la computadora; y su aparato instrumental, las manos. Ahora toca recorrer el camino inverso: desde esta filosofía de la matemática volveremos, mediante el *progressus*, a la matemática, persiguiendo aplicar la teoría del cierre categorial a las ciencias matemáticas.

El modelo de ciencia de la teoría del cierre categorial es, precisamente, las matemáticas. No es casualidad que la noción de «cierre categorial», que describe cómo cada ciencia cobra carta de naturaleza, presente resonancias algebraicas y topológicas. A la manera como las *operaciones* de suma de *términos* del conjunto de los números enteros determinan –al ser «cerradas» (la suma de dos números enteros es otro número entero)– las *relaciones* del grupo de los enteros con la suma, transformando los números enteros de mero conjunto Z en grupo $(Z,+)$, la teoría del cierre categorial sugiere que las *operaciones* de los científicos con los *términos* de su campo determinan

–si «cierran»– *relaciones* que transforman ese campo en una categoría, en una nueva ciencia. Cada ciencia es, pues, una multiplicidad de objetos que, mediante operaciones por parte de los científicos, se componen unos con otros hasta configurar relaciones, verdades, que al irse anudando cierran el campo y certifican que esa disciplina es *de facto* una ciencia. Además, la teoría del cierre sostiene que las ciencias son disciplinas que introducen verdades en la historia e intenta defender su objetividad sin recaer en la metafísica. Sentado esto, la teoría del cierre es una teoría de la ciencia que no puede ser entendida al margen de una ontología materialista. Se comprenderá, por tanto, su incompatibilidad con cualquier clase de escepticismo, por cuanto reconoce a las ciencias –y, en especial, a la ciencia originaria, a la geometría– su contribución insustituible en el proceso de establecimiento de verdades universales y necesarias.

2. Emprendemos el análisis sistemático de las matemáticas en marcha, así como de los materiales desprendidos a lo largo de su historia. Si en el punto anterior quedó claro que las matemáticas son un hacer, en este vamos a indagar acerca de las categorías de ese hacer. Siguiendo a Álvarez Muñoz (2004, 169), ensayamos, en primer lugar, una *gnoseología analítica* de las matemáticas, es decir, estudiamos *anatómicamente* el cuerpo de la matemática, como si estuviera *estático*. A continuación, imprimimos movimiento a esta foto fija, esto es, practicamos una *gnoseología sintética* de las matemáticas, en la que estudiamos *fisiológicamente* el cuerpo matemático, analizando su funcionamiento *dinámico*.

La matemática, como toda ciencia, posee un *espacio gnoseológico* propio. Usando el lenguaje como hilo conductor del análisis de la ciencia, nos percatamos enseguida de que el espacio gnoseológico está dotado de tres dimensiones: sintáctica, semántica y pragmática. En consecuencia, este espacio tridimensional queda vertebrado por tres ejes: un *eje sintáctico* (centrado en el estudio de los signos σ de las matemáticas), un *eje semántico* (centrado en el estudio de los objetos matemáticos O) y, por último, un *eje pragmático* (encargado de estudiar los sujetos matemáticos S). A su vez, cada eje queda configurado en una terna de *figuras gnoseológicas* que recogen las posibles conexiones que pueden establecerse en la materia de estudio de ese eje según se analice a través de signos σ, objetos O, o

sujetos *S*. De este modo, dentro del eje sintáctico nos aparecen tres figuras de acuerdo a las tres combinaciones posibles: (σ, *O*) = *términos* (cuando los signos los ponemos en conexión con los objetos, nos encontramos con los términos); (σ, *S*) = *operaciones* (cuando los signos entran en conexión con los sujetos, hay operaciones); (σ, σ) = *relaciones* (cuando conectamos signos y signos, estamos ante relaciones). Dentro del eje semántico: (*O*, *O*) = *referenciales* (cuando estudiamos objetos entre más objetos, marcamos referenciales); (*O*, *S*) = *fenómenos* (cuando los objetos se aparecen a los sujetos, se muestran como fenómenos); (*O*, σ) = *esencias* (cuando los objetos se estructuran mediante signos, construimos esencias). Y en el eje pragmático: (*S*, *O*) = *dialogismos* (las relaciones entre sujetos mediante objetos dan lugar a los dialogismos); (*S*, *S*) = *autologismos* (las relaciones del sujeto con el sujeto nos ponen en el horizonte de los autologismos); (*S*, σ) = *normas* (las relaciones entre sujetos mediante signos están fuertemente reglamentadas, son las normas). A continuación, ofrecemos una tabla con las conexiones correspondientes:

Espacio gnoseológico	Objetos (O)	Sujetos (S)	Signos (σ)
Eje sintáctico (signos, σ)	Términos (σ, O)	Operaciones (σ, S)	Relaciones (σ, σ)
Eje semántico (objetos, O)	Referenciales (O, O)	Fenómenos (O, S)	Esencias (O, σ)
Eje pragmático (sujetos, S)	Dialogismos (S, O)	Autologismos (S, S)	Normas (S, σ)

Tabla 4

Ahora, describimos sucintamente cada figura gnoseológica por separado, comenzando por las sintácticas, siguiendo por las semánticas y terminando por las pragmáticas, de cara a obtener una fotografía de cuerpo entero de las matemáticas:

Matemática	
Eje sintáctico	
Términos	«números, rectas, curvas, figuras planas, cuerpos espaciales, conjuntos»
Operaciones	«funciones aritméticas, transformaciones geométricas, operadores»
Relaciones	«identidades notables, ecuaciones algebraicas, relaciones geométricas»
Eje semántico	
Referenciales	«signos tipográficos, rayas, líneas, redondeles, sólidos»
Fenómenos	«ejemplos y contraejemplos, dibujos, conjeturas, hipótesis»
Esencias	«definiciones, teoremas, clasificaciones»
Eje pragmático	
Normas	«leyes de la lógica y reglas matemáticas elementales»
Autologismos	«ideas felices»
Dialogismos	«congresos, conferencias, debates, publicaciones»

Tabla 5

- Términos: *números, rectas, curvas, figuras planas, cuerpos espaciales, conjuntos...*

Los términos de las matemáticas son los ladrillos con que los matemáticos construyen los teoremas. Por ejemplo, en aritmética, los números. En geometría: los puntos, las rectas, las curvas, las figuras planas y los cuerpos espaciales. En análisis, serían las funciones. En topología, los abiertos y cerrados. Y, en teoría de conjuntos, los conjuntos y las clases. Sin embargo, los términos no tienen por qué ser necesariamente primitivos. A saber: el punto geométrico es, genéticamente, un término menos primitivo que la recta geométrica, ya que al concepto de punto como «aquello que no tiene partes» se llega mediante la intersección de dos rectas; análogamente, el conjunto vacío es, pese a ser el punto de arranque de la jerarquía conjuntista, un término derivado, creado cuando se intersecan dos conjuntos que no comparten ningún elemento (Bueno: 1992, 132). Estos ejemplos, no por trillados pierden un ápice de interés. Al calor del tópico se dice en múltiples ocasiones: «la geometría tiene por objeto el es-

pacio». Sin embargo, desde la teoría del cierre categorial, las ciencias no tienen objeto sino campo, porque las ciencias jamás tratan con un único objeto. En consonancia con esto, la geometría no tiene un objeto sino un campo poblado de términos (puntos, rectas, ángulos, triángulos, cuadriláteros...). Asimismo, la topología no tiene por objeto la forma, sino un campo formado por abiertos, cerrados, compactos, componentes conexas, cilindros de homotopía, grupos de homología, &c.

- Operaciones: *funciones aritméticas, transformaciones geométricas, operadores...*

Las operaciones realizadas por los matemáticos cuando hacen matemáticas reciben una contrapartida sintáctica muy concreta. Por ejemplo, las operaciones en aritmética (sumar, multiplicar...) quedan reflejadas como funciones aritméticas ($y = x + 1$, $y = 2x$...). Análogamente, las operaciones en geometría (trasladar, girar, simetrizar...), en transformaciones geométricas (traslaciones, giros, simetrías...). Y, con el desarrollo del análisis matemático, especialmente del análisis funcional, harán su aparición los operadores (operador derivada, operador integral, operadores funcionales...) como generalización de operaciones (derivar, integrar...). Por descontado, también son operaciones las operaciones manuales de juntar y separar signos que lleva a cabo el matemático sobre el papel.

- Relaciones: *identidades notables, ecuaciones algebraicas, relaciones geométricas...*

Los términos, mediante operaciones, se engarzan unos con otros hasta determinar relaciones, como puedan ser las identidades notables y las ecuaciones en álgebra (por ejemplo: $(a+b)\cdot(a-b) = a^2-b^2$) o ciertas relaciones en geometría (por ejemplo: si S denota una simetría e I denota la identidad, $S^2=I$, esto es, la composición de una simetría consigo misma deja inalterado cada punto del plano). También son relaciones sintácticas la gran mayoría de los contenidos de los teoremas y las proposiciones (por ejemplo, la caracterización topológica de los cerrados como aquellos conjuntos cuyo cierre, clausura o adherencia

coincide con ellos mismos puede verse como una relación de igualdad entre un término simple –el cerrado– y un término compuesto –el cierre del cerrado– construido mediante la operación de cierre).

- Referenciales: *signos tipográficos, rayas, líneas, redondeles, sólidos...*

Si dentro del eje sintáctico hay términos, relaciones y operaciones, dentro del eje semántico nos encontramos referenciales, fenómenos y esencias. Los matemáticos, como los físicos o los químicos, precisan de referenciales fisicalistas que poder «agarrar» para operar. En el caso de las matemáticas, esos referenciales son, por ejemplo, las letras en álgebra, o las rayas, líneas, redondeles y sólidos en la geometría del plano y del espacio. No es casual que, durante los años de auge del formalismo, hubiera quien pensó en escribir un tratado titulado *Teoría de Números Tipográfica*.

- Fenómenos: *ejemplos y contraejemplos, dibujos, conjeturas, hipótesis...*

También hay fenómenos en matemáticas. Los fenómenos son esas colecciones de datos flotantes que se les aparecen en su labor a los matemáticos y que piden a gritos un tratamiento esencial, es decir, ser incorporados dentro de una teoría o estructura sólida. Éstos van desde los ejemplos y contraejemplos que corroboran o refutan teoremas analíticos (funciones teratológicas) a los dibujos que sugieren teoremas geométricos (diagramas pitagóricos), o las experiencias que motivan teoremas topológicos (manejo de poliedros, lazos, nudos), sin olvidar las conjeturas e hipótesis que marcan la historia matemática (Conjetura de Goldbach, Hipótesis del Continuo, Conjetura de Poincaré, Hipótesis de Riemann...).

- Esencias: *definiciones, teoremas, clasificaciones...*

Las esencias de las matemáticas son los teoremas, que estructuran los fenómenos probando o refutando conjeturas. Las ciencias matemáticas establecen estructuras esenciales a partir de los fenómenos. Por ejemplo, en los últimos años, el teorema que ha arrinconado informativamente a todos los demás no es otro que el Último Teorema

de Fermat. Sin embargo, también las definiciones (por ejemplo, la de número real), cuando antes que puntos de partida son puntos de llegada (redefiniciones), e incluso los modelos y las clasificaciones (por ejemplo, en su época, la de los sólidos platónicos y la de los sólidos arquimedianos) representan estructuras esenciales en la matemática.

- Normas: *leyes de la lógica y reglas matemáticas elementales...*

En el eje pragmático hay normas, autologismos y dialogismos. Dentro de cada ciencia matemática, nos encontramos con una serie de normas que todo matemático ha de respetar en su trabajo. Estas normas van desde las leyes de la lógica (principio de no-contradicción) y las reglas matemáticas elementales (por poner un ejemplo, no equivocarse en las cuentas) a los preceptos morales (la mal llamada «ética» del científico).

- Autologismos: *ideas felices...*

Autologismos son aquellas figuras gnoseológicas que nos hablan de la relación de cada matemático con su área de investigación. Los autologismos representan la inserción de la actividad psicológica en el proceso de construcción científica. Desde luego, el principal autologismo que hallamos en la matemática es la «idea feliz», es decir, esa súbita ocurrencia que hace que de repente todas las piezas del rompecabezas matemático encajen a las mil maravillas. El distinguido matemático francés Jacques Hadamard condensó sus propios autologismos, así como los de otros matemáticos de primera fila, en un inspirado informe titulado *La psicología de la invención matemática*. Allí recogía un caso estrella que merece la pena traer a colación. En cierto momento, Poincaré estaba dedicando intensos esfuerzos a las funciones fuchsianas, pero sin fruto. Había llegado a un punto muerto. Un día decidió marchar de excursión geológica. Con las peripecias del viaje se olvidó del trabajo. De repente, cuando se disponía a subir a un ómnibus, le vino la idea feliz. Las transformaciones fuchsianas correspondían a las de la geometría no euclídea. Al volver a casa verificó la idea. No se equivocaba. También son autologismos los propios recuerdos de la labor matemática.

- Dialogismos: *congresos, conferencias, debates, publicaciones...*

Dialogismos son aquellas figuras gnoseológicas consistentes en las relaciones instituidas entre matemáticos. Representan la interacción entre distintos sujetos gnoseológicos. Tomamos como ilustración de dialogismo los sucesivos congresos internacionales de matemáticos (ICMs), que han permitido y permiten intercambiar pareceres a lo más granado de la comunidad matemática. Otro dialogismo son las revistas matemáticas, como los influyentes *Mathematische Annalen* comandados durante mucho tiempo por Hilbert y sus colegas.

Capítulo 8

Gnoseología sintética de las matemáticas

1. Llegó la hora de abordar los mecanismos de construcción de las matemáticas. El proceso matemático se ve condicionado a cada paso por las distintas anomalías o particularidades propias de la categoría matemática en que nuestro matemático está indagando. Nos encontramos con los *principios* y los *contextos determinantes*.

Desde los ejes sintáctico y pragmático, aparecen los principios de las matemáticas. Cuando la teoría del cierre categorial se refiere a los principios de las ciencias lo hace en un sentido más próximo a la química que a la lógica. Es decir, los principios no son sólo las leyes o reglas que condicionan decisivamente las operaciones científicas, sino también los factores que están «al principio» de esas operaciones, en calidad de materiales. Son principios «activos» de la matemática los principios de no-contradicción o de tercio excluso, los axiomas, los postulados y también el propio material proposicional. Por ejemplo, centrándonos en los Elementos de Euclides, podemos decir que son principios de las relaciones los axiomas, principios de las operaciones los postulados, y principios de los términos las definiciones (Bueno: 1992, 140). Principios de índole pragmática son los preceptos metodológicos.

Por su parte, desde el eje semántico se ponen de relieve los *contextos determinantes* involucrados en las operaciones de nuestro matemático. La teoría del cierre categorial denomina contextos determinantes a las

armaduras de material objetual que posibilitan las construcciones científicas y, en general, los cierres categoriales de las ciencias. Un ejemplo: la circunferencia (asociada al compás) o el triángulo (asociado a la escuadra y el cartabón) son contextos determinantes euclidianos, porque es usándolos como Euclides prueba la mayoría de teoremas (Bueno: 1992, 135). Otro ejemplo: los triángulos que constituyen las mallas o triangulaciones con que se calculan las áreas de numerosas figuras indican que el triángulo vuelve a ser contexto determinante en la geometría métrica más elemental. También son contextos determinantes los programas informáticos instalados en los computadores, que ayudan al matemático en sus cálculos y demostraciones. La primera demostración asistida por ordenador fue la de Kenneth Appel y Wolfgang Haken del Teorema de los Cuatro Colores en 1976. Durante siglos, los confeccionadores de mapas habían observado que bastan cuatro colores para pintar los países de modo que dos estados fronterizos no compartan el mismo color. Los topólogos intentaron probarlo sin éxito, pero el ordenador fue capaz de analizar una enorme cantidad de configuraciones de modo válido y riguroso (1200 horas de cómputo), con lo que este aparato pasó a ser contexto determinante por fuerza.

2. Tras recolectarlos del espacio gnoseológico matemático, ya tenemos identificados los ingredientes (principios y contextos determinantes), pero: ¿qué quiere cocinar nuestro matemático con ellos? *Teoremas*, es decir, *verdades*. Y los procesos operatorios siguen diversos caminos hacia la construcción de estas configuraciones objetivas que son los teoremas. Son los cuatro *modos de las ciencias*: *definiciones*, *demostraciones*, *clasificaciones*, *modelos*. Podría pensarse que el único modo científico que va a aparecer en la matemática es el de la demostración (¿cuántas veces se ha definido la matemática como la ciencia de la demostración?), pero si pensáramos así nos equivocaríamos. La matemática presenta demostraciones en abundancia pero también definiciones, clasificaciones y modelos. Las definiciones, cuando no son puntos de salida sino de llegada, son tan «teoremas», tan configuraciones objetivas, como las demostraciones de los teoremas (basta tener en cuenta la historia de cómo se llegó a la definición de los números reales o de los espacios de Hilbert). Muchos teoremas matemáticos al uso esconden clasificaciones, como la de los sólidos

platónicos, la de los sólidos arquimedianos o la de los movimientos en el plano y en el espacio. Finalmente, como ejemplos de modelos, podemos señalar los modelos de variedades diferenciables en el espacio euclídeo según su curvatura sea nula, positiva o negativa (plano, esfera, silla de montar).

Capítulo 9
El cierre de las matemáticas

1. «Cierre categorial» designa a la serie de procesos operatorios que conducen a la constitución de una esfera de teoremas. De las nueve figuras gnoseológicas solamente cuatro pueden aspirar a lograr la objetividad (términos, relaciones, referenciales, esencias), porque el resto siempre permanecen en el plano de la subjetividad (operaciones, fenómenos, normas, dialogismos, autologismos). Se trata, pues, de neutralizar esa subjetividad para lograr la objetividad. El procedimiento mediante el cual las ciencias consiguen dicha neutralización es el que se describe bajo el nombre de cierre categorial.

La noción de «cierre» proviene, como ya se ha señalado, de la matemática, en donde se dice que una operación $\otimes$ es cerrada en una estructura $\Im$ si para cualesquiera $x, y \in \Im$ se tiene que $x \otimes y \in \Im$. Por su parte, la noción de «categoría», de resonancias aristotélicas, refiere al universo de discurso (constituido por una multiplicidad, más o menos difusa, de entidades) en que se mueve una ciencia. (Si la geometría se entrometiera en el campo de la medicina dictando que toda enfermedad es cuadrada, diagnosticaríamos un error categorial.) Y *cierre categorial* designa al conjunto de procesos (*cierres operatorios*) realizados sobre objetos (*cierres objetuales*) y proposiciones (*cierres proposicionales*) que culminan en el establecimiento de una serie de teoremas, de verdades. La teoría del cierre categorial sostiene que las *operaciones* de los científicos con los *términos* (objetuales,

proposicionales) de su campo determinan –si «cierran»– *relaciones* (teoremas, verdades) que transforman ese campo en una categoría, en una ciencia. Cada ciencia es, pues, una multiplicidad de objetos que, mediante operaciones por parte de los científicos, se componen unos con otros hasta configurar relaciones, verdades, que al irse anudando cierran el campo («operar en la ciencia *XYZ* queda en la ciencia *XYX*, como sumar números naturales queda en el conjunto de números naturales»), y certifican que esa disciplina es *de facto* una ciencia.

2. Pero, como se preguntara Pilatos, ¿qué es la verdad? ¿Cuáles son los rasgos más sobresalientes de las verdades matemáticas? Frente a la teoría clásica de la verdad como adecuación o correspondencia, la teoría del cierre categorial propone la teoría de la verdad como *identidad sintética*, pensada para cubrir tanto a las ciencias «formales» como a las ciencias naturales y sociales (Bueno: 1972, 432). La idea de identidad se opone a la idea de adecuación, porque la primera remite a una identificación entre entidades de una misma clase mientras que la segunda remite a una suerte de ajuste (otros dirán similitud o analogía) entre entidades pertenecientes a clases no sólo diferentes sino también disyuntas. Pero esta última concepción de la verdad no funciona en la matemática: un hipercubo no se adecua a nada (salvo que nos hagamos neoplatónicos). De este modo, el sentido de la verdad de un teorema matemático habrá que desplazarlo del acuerdo metafísico entre el matemático y la matemática a una relación entre términos construida mediante operaciones. Si presuponemos la concepción del conocimiento matemático del materialismo formalista, según la cual la actividad cognoscitiva del matemático es constitutiva de los objetos matemáticos (*matemática = saber hacer*), las verdades matemáticas aparecerán cuando dos o más cursos operatorios independientes intersecten según una relación de identidad entre ciertos eslabones de cadenas de términos. La teoría del cierre concibe los teoremas de las matemáticas como *relaciones* de identidad, entre *términos* físicos, construidas mediante las *operaciones* de los matemáticos.

La verdad en matemáticas es más un ejercicio que una representación, consistente en la confluencia de diversos cursos operatorios que *cierran* bien. Desde luego, «como prototipo de esta intrincación y concatenación entre las construcciones objetuales y las construcciones proposicionales –apunta Bueno (1992, 132)– tomaremos el

proceso que se describe en el *Libro I* de Euclides y que culmina en el "Teorema 47" (el "Teorema de Pitágoras")». En efecto, el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los catetos, porque el curso operatorio consistente en construir los cuadrados sobre los catetos termina identificándose con el curso operatorio consistente en construir el cuadrado sobre la hipotenusa del triángulo rectángulo gracias a una dinámica de modificaciones sucesivas de triángulos equivalentes. Mediante una secuencia de congruencias de triángulos se transforman los cuadrados sobre los catetos en dos rectángulos que al encajarse componen el cuadrado sobre la hipotenusa.

Otro ejemplo: la verdad de la fórmula del área del círculo $S=\pi r^2$ descansa, según la demostró Arquímedes empleando el método de exhausción, en la coincidencia entre el curso operatorio que aproxima el área del círculo mediante polígonos inscritos y el curso operatorio independiente que la aproxima mediante polígonos circunscritos. Podría aducirse que para calcular el área del círculo basta con uno de los dos procedimientos, pues ambos dan idéntico resultado; pero, entonces, ¿cómo se sabe que se ha calculado el área del círculo y no de una figura algo menor o, recíprocamente, si se ha empleado el otro procedimiento, de una figura ligeramente mayor? La igualdad era para Arquímedes la prueba de que había calculado exactamente el área del círculo y no de otra figura.

Aún más: tanto «triangulando» a lo Arquímedes (aproximando el área del círculo mediante polígonos inscritos y circunscritos descomponibles en triángulos) como «coronando» a lo Cavalieri (aproximando el área del círculo mediante infinitas coronas circulares aplicables en rectángulos infinitesimales) se obtiene el mismo resultado. Esta confluencia entre el «método de exhausción/compresión» y el «método de indivisibles» no tendría por qué darse en principio; pero, como se da, certifica que $S = \pi r^2$ es un teorema (Bueno: 1992, 168). De nuevo, podría objetarse que en matemáticas no hace falta demostrar lo mismo dos veces. Basta con una. Y, por tanto, sobra con la demostración que de la fórmula del área del círculo dio Arquímedes (la cual ya contiene en sí misma la identidad entre dos cursos operatorios independientes en que hacemos consistir la verdad científica). Desde luego, pero cuando los teoremas se demuestran mediante cursos de operaciones heterogéneos se convierten en auténticos nudos de la red

matemática, en el sentido de que su franja de verdad aumenta (no porque su valor de verdad formal cambie, sino porque su verdad en sentido material engrosa). Así, el Teorema del Punto Fijo de Brouwer fue originariamente demostrado usando técnicas de topología algebraica, pero su conversión en piedra angular de la matemática moderna se fraguó gracias a las demostraciones usando teoría de retractos y análisis, que permitieron su empleo en otros dominios.

Y otro ejemplo más: la verdad del llamado Teorema Fundamental del Cálculo consiste en la identidad construida por Newton y Leibniz entre las series de operaciones que marchaban independientes del cálculo diferencial y del cálculo integral, y que a partir de esta identificación aparecerán como momentos de un mismo cálculo: «la derivada de la integral indefinida

$$F(x) = \int_{[a,x]} f(u)du$$

como función de x es igual al valor de $f(u)$ en el punto x (es decir: $F'(x)=f(x)$)» (Bueno: 1972, 432).

Además, frente a la moda, la teoría del cierre categorial declara que estas identidades matemáticas no son *analíticas* sino *sintéticas*, porque aparecen a partir de series de algún modo independientes entre sí. La teoría del cierre sostiene que juicios como «7+5=12» son *sintéticos* por razones distintas a las dadas por Kant. Analítico/sintético es un par de conceptos conjugados (Hume ensayó la reducción del primero al segundo, Leibniz la practicó al revés, y Kant los yuxtapuso) que cabe organizar dialécticamente: *analítico* y *sintético* como propiedades relacionales con respecto a un marco de referencia. Verbigracia: la lógica como analítica respecto de la matemática, la lógica y la matemática como analíticas respecto de la física, &c. (Bueno: 1979a, 28). Aunque cada una de ellas sea sintética por sí misma, porque, por ejemplo, ateniéndonos a la identidad aritmética más arriba enunciada, ella presupone múltiples cursos operatorios que confluyen en el establecimiento de tal igualdad: cálculo de la suma mediante diferentes algoritmos ($+_{10}$ ó $+_{2}$), obtención del mismo resultado por otros caminos (7+5=12=17-5)... Esto es, no es analítica porque «12» no es sólo una simple designación de «7+5», sino también, pongamos

por caso, de «1+....^{12}...+1» o, equivalentemente, de «{0, 1, 2, ..., 11}» (Benacerraf: 1965).

3. Cuando el polvo de la batalla se asienta, el cúmulo de identidades sintéticas construidas cristaliza en un cierre categorial, es decir, en una organización inmanente del círculo de esa disciplina que propicia la reconversión de su campo en una nueva categoría, en una nueva ciencia. El cierre categorial constituye a esa disciplina como ciencia entre las otras ciencias; porque no hay Ciencia sino ciencia*s*, como no hay Categoría sino categoría*s*. Y no hay tantas ciencias como categorías sino, invirtiendo las tornas aristotélicas y dando la razón a Comte, tantas categorías como ciencias. La tesis de que hay tantas categorías como ciencias y no al revés sigue lo que, en ejercicio más que en representación, mantuvo el positivismo, impuesto por la propia realidad de las ciencias en marcha.

Ahora bien, ¿cuántas categorías matemáticas hay? ¿Una, dos, tres, cincuenta? La respuesta ha de ser necesariamente histórica: tantas categorías matemáticas como ciencias matemáticas (Bueno: 1992, 644). En consecuencia, si hay una multiplicidad de ciencias matemáticas (geometría, aritmética, álgebra, análisis…), hay múltiples categorías matemáticas. No hay en puridad matemática sino matemática*s*, donde cada ciencia matemática porta su cierre categorial como marca de nacimiento. La distinción entre ciencias matemáticas es categórica, mientras que su unidad viene dada por la historia.

El cierre categorial es la carta de naturaleza de cada ciencia matemática y determina su origen a la manera que la puesta en escena es el «cierre» del teatro. Distinguimos cinco maneras de cierre de una ciencia:

1) Por *construcción* de un campo nuevo a coordinar con los precedentes: la geometría

Así nació la primera ciencia matemática: la geometría. Las antiguas civilizaciones babilónica y egipcia lograron apreciables conocimientos geométricos. Pero sus «matemáticas», si pueden llamarse así, no sobrepasaban un estadio técnico, ya que radicaban en colecciones de recetas indicadas para resolver problemas cotidianos, que tenían que ver con la práctica de los agrimensores. La ciencia geométrica se

construyó sobre esta desordenada serie de técnicas geométricas, en las que la noción de demostración apenas se atisbaba. Los enunciados de los teoremas geométricos de Tales harían sonreír a los agrimensores egipcios por su simplicidad y falta de utilidad (por ejemplo: el diámetro de la circunferencia divide el círculo en dos partes iguales), pero eran los primeros teoremas, probados por puesta en evidencia, y siguen siendo verdad más de dos mil años después. Se dice que, al tiempo, Tales logró medir la altura de la Gran Pirámide mediante una simple regla de tres. Otro que entabló contacto con babilonios y egipcios fue Pitágoras. Pitágoras nos legó una aritmética geométrica, una teoría de áreas (método de aplicación y de cálculo de áreas por disección y por cuadratura) y una teoría de proporciones. Sin embargo, el descubrimiento de los inconmensurables hizo añicos la matemática pitagórica. Los números racionales no agotaban la realidad. La teoría atómica pitagórica era falsa: el continuo real no está formado por una colección discreta de átomos individuales. La geometría no era aritmética, no todo era número (racional). La primera crisis de fundamentos marcó el devenir de la primera ciencia matemática. Se trataba, ahora, de salvar los trastos reduciendo la aritmética a la naciente geometría. No en vano, Platón, convencido de que el cielo entero era armonía, se empeñó en instruir al tirano de Siracusa y sus cortesanos en la geometría trazada sobre arena, convirtiendo los suelos de palacio en remolinos de polvo. Bajo la dirección de Platón, la Academia sistematizó las matemáticas pitagóricas, destacando los académicos Teeteto y Eudoxo. A Teeteto se atribuye el teorema que establece que sólo existen cinco poliedros regulares (sólidos platónicos). Por su parte, Eudoxo construyó una nueva teoría de proporciones que alejó el horror pitagórico a los números irracionales. Simultáneamente, los tres problemas clásicos (trisección del ángulo, cuadratura del círculo, duplicación del cubo) servían de cuestiones tantalizantes de la geometría del momento (imposibles de zanjar empleando regla y compás). Pero saltemos de la Academia de Atenas al Museo de Alejandría. En el Templo de las Musas nos encontramos con Euclides y los *Elementos*. Según su comentarista Proclo, Euclides compendia a Teeteto y Eudoxo, pero su obra simboliza el cierre categorial de la geometría. En los Libros I-IV recoge la geometría plana de sus predecesores, sazonada con una pizca de álgebra geométrica. En los Libros

V-VI desarrolla la teoría de la proporción y la semejanza inspirada en Eudoxo. Y dedica los Libros XI-XIII a la geometría del espacio. La época dorada de la geometría griega se extendería hasta el estudio de las cónicas de Apolonio el Gran Geómetra y las investigaciones rigurosísimas de Arquímedes (muchas veces motivadas por ingenios mecánicos, como sacó a la luz el palimpsesto de *El método* encontrado a principios de siglo XX). Pero los *Elementos* de Euclides son, desde luego, el cierre de la geometría.

2) Por *segregación interna* de una ciencia respecto de otras ciencias: la aritmética

Nos atrevemos a tomar como ejemplo la constitución de la aritmética como ciencia diferenciada de la geometría. Es cierto que los *Elementos* contienen un gran número de teoremas aritméticos, pero la aritmética aparece subordinada a la geometría y sus resultados expresados en la aritmética geométrica griega. Por ejemplo, centrándonos en los Libros VII-X, los dedicados a la teoría geométrica de números, observamos que, si bien está el relevante Teorema de Infinitud de los Números Primos, Euclides sólo considera la multiplicación de hasta tres números, como mandaba su *geometrismo*: más allá de los números planos (como 3 x 5, que representaría un rectángulo de lados 3 y 5) y de los números sólidos (como 3 x 5 x 7, que representaría un paralelepípedo de lados 3, 5 y 7) no hay nada. A nuestro entender, el cierre categorial de la aritmética se produce cuando logra segregarse de la geometría, es decir, con la *Aritmética* de Diofanto, que ya toma en consideración la multiplicación de más de tres números (3 x 5 x 7 x 2) y que contiene una versión del Teorema Fundamental de la Aritmética (todo número natural puede descomponerse en producto de números primos) más *aritmetizante* que la de Euclides.

3) Por *inflexión* dentro de una misma categoría: el álgebra

Babilonios, egipcios y griegos resolvían ecuaciones de primer y segundo grado mediante diversas técnicas algebraicas. El influjo del álgebra geométrica griega se percibe en la conservación de expresiones como «cuadrado» y «cubo» para la segunda y tercera potencias:

«*a* al cuadrado» es un cuadrado de lado *a* y «*a* al cubo» es un cubo de arista *a*. La introducción de nuevo aparato simbólico (Diofanto, Al-Khuwarizmi, Vieta) produjo una verdadera inflexión en el desarrollo de las técnicas algebraicas y posibilitaría su cierre pasado el tiempo. Tartaglia dio con un método para resolver ecuaciones de tercer grado, pero lo mantuvo en secreto. El médico, astrólogo y matemático Cardano consiguió que Tartaglia se lo confiara, pero le traicionó y lo publicó haciéndolo pasar por suyo. Finalmente, Ludovico Ferrari, antiguo secretario de Cardano, dio con otro método para resolver ecuaciones de cuarto grado. Pero la resolución por radicales de la ecuación polinómica de quinto grado se les resistió. Trescientos años después, Abel demostraría que es imposible. Pero para asistir al cierre del álgebra hemos de asomarnos a la lectura de la tesis doctoral de Gauss. El genial Gauss probó lo que se conoce como Teorema Fundamental del Álgebra. Este teorema cierra el álgebra al probar que cualquier ecuación polinómica de grado *n* posee exactamente *n* soluciones en el cuerpo de los números complejos. Como dijera Hadamard: «La trayectoria más corta entre dos verdades en el dominio real pasa a través del dominio complejo» (Kline: 1992, 828).

4) Por *composición* o *intersección* de categorías: la geometría analítica, la geometría algebraica, el análisis y la topología

Si la geometría analítica surgió a partir de la intersección de geometría y aritmética en el siglo XVII (coordenadas cartesianas), cabe decir que la geometría algebraica ha surgido con la composición de esta geometría analítica con el álgebra del XIX. Por su parte, las técnicas de cálculo del Renacimiento pronto se agruparon en dos bandos: por un lado, las que servían para calcular tangentes («cálculo diferencial»); por otro lado, las utilizadas para calcular áreas («cálculo integral»). Tal vez, Isaac Barrow fuera el primero en constatar que los problemas de cálculo de tangentes y de áreas eran inversos el uno del otro, pero serían Newton –con sus fluxiones– y Leibniz –con sus diferenciales– los que establecerían fuera de toda duda el Teorema Fundamental del Cálculo, en que –como vimos– intersecan los cursos del cálculo diferencial y del cálculo integral para dar origen al análisis. Otra ilustración viene suministrada por el cierre de la topología,

ocurrido como composición del «analysis situs» (topología combinatoria) y de la teoría descriptiva de conjuntos (topología conjuntista).

5) Por *segregación oblicua*, esto es, por aplicación de una ciencia sobre otro campo: la estadística

De igual manera que el nacimiento de la astronomía geométrica o de la óptica geométrica como ciencias consistió en la aplicación de otra ciencia –la geometría– sobre un campo ajeno –el astronómico o el óptico–, la estadística matemática nació cuando el cálculo de probabilidades, crecido en torno a los juegos de azar, comenzó a emplearse para realizar inferencias en diversos contextos materiales. Cabe decir que la estadística tiene su origen en la composición de dos cursos que en principio discurrían independientes y en su extensión a múltiples áreas científicas e industriales. Tenemos, por un lado, la inferencia estadística, asociada al estudio de muestras y surgida a partir del cálculo de probabilidades. El concepto de probabilidad –que como término ya puede encontrarse en Cicerón– se les escapó a los griegos por carecer de una aritmética fisicalista adecuada así como de dados simétricos (los posibles resultados de su astrágalo no eran equiprobables), lo que les impidió postular la «regla de Laplace» –que ya se encuentra en Bernoulli– como principio. El germen de la estadística inferencial apareció en el campo de los juegos de azar (correspondencia Fermat-Pascal) y de la astronomía (síntesis Gauss-Laplace), aunque el conjunto de herramientas que se desarrollaron tardó en circular al ámbito social y natural en que brotó el otro curso: la estadística descriptiva, es decir, el análisis exploratorio de datos ligados a poblaciones humanas y biológicas. Si uno de los cursos progenitores de la estadística se encuentra en la *Théorie mathématique des probabilités* francesa, el otro hay que buscarlo en la «ciencia del Estado» (de donde deriva precisamente el nombre «estadística») y en la biología evolutiva, esto es, en el estudio de datos demográficos y biométricos (Madrid Casado: 2014a y 2015).

4. Nos resta tratar un último fleco: ¿hay o no hay «revoluciones» en matemáticas? Opiniones las ha habido para todos los gustos y, en los extremos, se sitúan los dos textos clásicos sobre el tema, firmados por

M. Crowe y J. Dauben (Gillies: 1992). Crowe rechazó la aplicación a las matemáticas del modelo de cambio científico propuesto por Kuhn, argumentando que en la historia de las matemáticas jamás se dan rupturas totales con el pasado, es decir que no hay inconmensurabilidad entre el periodo pre-revolucionario y el periodo pos-revolucionario. En cambio, Dauben justifica la existencia de revoluciones matemáticas observando que, tras los periodos revolucionarios, los teoremas anteriores sufren una considerable pérdida de importancia. A nuestro juicio, gran parte de la discusión radica en que cada autor sostiene una idea distinta de revolución científica. Podríamos decir que Crowe habla de revoluciones en sentido fuerte –implicando inconmensurabilidad entre periodos– mientras que Dauben lo hace en sentido débil –implicando cambio y reorganización–.

¿Qué tiene que decir la teoría del cierre categorial de esta disputa? Varias cosas. En primer lugar, la teoría del cierre sostiene que el debate a propósito de las revoluciones científicas está desplazado, por cuanto es más sociológico que gnoseológico. La noción de «revolución científica» pertenece, tal y como la formuló Kuhn, más a la sociología de la ciencia que a la filosofía de la ciencia. Exactamente igual que ocurre con la noción de «paradigma», que es más pragmática que semántica o sintáctica (¿acaso los mariólogos no tienen paradigmas?). Por consiguiente, desde nuestro enfoque cabe decir que las «revoluciones», como las «crisis de fundamentos», afectan antes a la capa metodológica que a la capa básica de las ciencias, y esto vale para las ciencias matemáticas (Bueno: 1992, 675).

Ahora bien, ¿sería posible reinterpretar gnoseológicamente la noción de «revolución científica»? Creemos que sí; y bastaría para ello hacerla consustancial al «cierre categorial». De este modo, las revoluciones científicas acontecerían con las constituciones de nuevas ciencias, coincidiendo la primera revolución científica con el cierre categorial de la geometría, es decir, con la cristalización de la geometría griega. No deja de ser curioso que Kant fuese el primero en calificar de revolución este momento, cuando las matemáticas se adentraron en el seguro camino de la ciencia (B X-XII). También serían revoluciones matemáticas la cristalización de la topología o de la teoría del caos. Sin embargo, de la aceptación de la existencia de revoluciones en las ciencias matemáticas no se sigue la tesis de la inconmensurabilidad entre

ciencias matemáticas pre- y pos-revolucionarias. Pese a que el orden histórico no coincide con el orden axiomático, toda ciencia matemática surge en continuidad con las ciencias anteriores. La topología nació a partir del analysis situs y de la teoría de conjuntos, así como la teoría del caos nació de la teoría de los sistemas dinámicos (Madrid Casado: 2009a y 2011). Análogamente, las geometrías no-euclídeas no afectaron a la capa básica de la geometría euclídea, que se reconstruye como geometría de una variedad con curvatura constante nula, sino a su capa metodológica: la metodología euclidiana no era universal (Bueno: 1992, 675).

Capítulo 10
A vueltas con la milagrosa efectividad de las matemáticas

1. Es probable que Ian Hacking (2014) tenga razón cuando afirma que la supervivencia de la filosofía de las matemáticas se explica por el carácter de acero de las demostraciones matemáticas y por la riqueza inagotable de sus aplicaciones en el mundo natural. Dos singulares hechos que precisan ser explicados. Mientras que el primero parece conducir inevitablemente a la conclusión de que existe un reino independiente de verdades matemáticas (de Platón a Hardy), el segundo plantea en toda su crudeza la irrazonable efectividad de las matemáticas (de Kant a Wigner).

2. Atendamos al primer factor, pues no deja de tener gran atractivo que hasta dos de los cosmólogos más veteranos de nuestro tiempo, Hawking y Penrose, se hayan planteado en diversos momentos la cuestión de la ontología de las matemáticas. Mientras que Stephen Hawking apuesta por una perspectiva naturalista (aunque las habilidades matemáticas no tienen a priori valor adaptativo), Roger Penrose –como Platón o Hardy– se complace con la visión platónica de los objetos matemáticos.

Tras haber presentado gnoseológicamente cada una de las teorías de la matemática históricamente disponibles (platonismo, logicismo, formalismo, intuicionismo, materialismo formalista), nuestro propósito es cribarlas ontológicamente. Para ello vamos a reclasificarlas elaborando una teoría de teorías de la matemática que, en vez de la distinción materia-forma, tome en consideración la distinción entre géneros de

materialidad.[14] Adoptamos, para fijar un sistema ontológico de referencia, la doctrina de los tres géneros de materialidad del materialismo filosófico (que expusimos en §6.2b), salvo la localización que ella lleva implícitamente asociada de los objetos matemáticos. De este modo, la antedicha localización funcionará como variable o incógnita (x) que nos permitirá diseñar una clasificación de filosofías de la matemática según el valor que asignen (x = 1, 2 ó 3).

El hilo del que vamos a tirar para clasificar ontológicamente el platonismo, el logicismo, el intuicionismo, el formalismo y el materialismo formalista es la comparación entre estas filosofías de la matemática y las doctrinas escolásticas a propósito de los universales. Quine (2002, 53) ya tendió puentes entre ambas corrientes y, desde nuestro punto de vista, la comparación no es ociosa, por cuanto la disputa medieval sobre los universales como sobre los entes matemáticos o las entidades teóricas en física no es mera palabrería sino una cuestión cargada de contenido.

- Teorías caracterizadas por $x = 1$:

Dentro de esta clase encontramos el *formalismo* de Hilbert, Bernays, Zermelo o Von Neumann, que hace suyo el *nominalismo* medieval (un término, por cierto, acuñado por los escolásticos españoles en torno a 1492), negando que las matemáticas posean existencia real y sean autosubsistentes. El formalista identifica la matemática con marcas físicas sobre el papel.

- Teorías caracterizadas por $x = 2$:

En esta clase hallamos el *intuicionismo*, con tintes kantianos, de Kronecker, Poincaré o Brouwer, que abraza el *conceptualismo*, otorgando a la matemática sólo existencia concebida. El intuicionista sustenta que la matemática es una construcción psíquica. Refresquemos nuestra memoria con las palabras de Heyting (1976, 19): «el pensamiento matemático no nos proporciona verdad alguna acerca del mundo exterior, sino que sólo se ocupa de construcciones mentales».

14 Para una clasificación alternativa cercana a la epistemología, porque mayormente refiere a la distinción sujeto-objeto, remitimos al lector a Velarde (1992, 105-126).

- Teorías caracterizadas por $x = 3$:

Y aquí encontramos tanto el *platonismo* de Pitágoras, Platón, Cantor, Gödel o Penrose como el *logicismo* de Frege, Russell, Wittgenstein I o Carnap. Ambas posiciones aceptan un *realismo* que oscila entre el radical de cuño platónico (que confiere realidad autosubsistente a la matemática) y el más moderado de raigambre aristotélica (que confiere realidad mas no autosubsistencia a la matemática). En cualquier caso, las dos posturas abstraen la matemática del espacio y del tiempo, de lo físico y de lo psíquico.

Fundamentación ontológica	
Reducción a $\mathbf{M_1}$	Formalismo
Reducción a $\mathbf{M_2}$	Intuicionismo
Reducción a $\mathbf{M_3}$	Platonismo-Logicismo

Tabla 6

¿Y el *materialismo formalista*? ¿Dónde queda enclasado? ¿Por qué no ha aparecido todavía? Porque el *materialismo formalista* niega la hipóstasis de la matemática en M_1, M_2 y M_3 que practican el formalismo, el intuicionismo y el platonismo-logicismo respectivamente. De otra manera, rechaza sustancializar la matemática en un único género de realidad. Es cierto que el materialismo formalista se distingue por afirmar con mayor rotundidad que el formalismo que la matemática *descansa* sobre su materialidad tipográfica, porque, según lo sostenido anteriormente, mantiene que los *términos* matemáticos están efectivamente en M_1; pero, en matemáticas, también cuentan las *operaciones* ejecutadas por el matemático (M_2) y las *relaciones* representadas por esos términos (M_3) (Bueno: 2000, 55 y 68). Unas relaciones que son reales, aunque incorpóreas, a la manera que la relación de distancia que existe entre dos botellas de agua que están encima de una mesa es tan real como esas dos botellas corpóreas. Pongamos una ilustración: la red de segmentos que forma el cubo de Necker pertenece a M_1; la percepción en perspectiva caballera de estos segmentos como un cubo remite a M_2; pero la relación de Euler que establece que el número de caras más el número de vértices menos el número de aristas es igual

a dos (C + V – A = 2) se asocia con M_3 y se aplica tanto al cubo en M_2 como –adaptándola– al grafo en M_1 (Bueno: 2016, 233-234). Análogamente, el conjunto infinito de los números primos, los cinco poliedros regulares o el espacio proyectivo pertenecen al *tercer género* de materialidad (estos contenidos son sistemas de *relaciones* con una realidad muy diferente de la cósica o la mental, pero que puede llegar a ser mucho más resistente y objetiva), pero su construcción precisa invariablemente de las *operaciones* del matemático (*segundo género* de materialidad) articulando *términos* como signos algebraicos y/o dibujos geométricos (*primer género* de materialidad). De otra manera, el sistema de los cinco sólidos platónicos no está en Francia ni Alemania, ni en la cabeza de los franceses o alemanes, ni dura ocho o diez días, pero existe, aunque de un modo atópico y acrónico. Ahora bien, tampoco se trata de una esencia que proviene de un mundo transfísico o que baja del cielo, porque no puede ser desprendida de este mundo en que vivimos y actuamos (M_3 es disociable pero no separable de M_2 ni de M_1, que funciona siempre como primer analogado): «a cada contenido terciogenérico ha de corresponderle por lo menos un par de contenidos procedentes de los otros dos géneros» (Bueno: 1992, 1427).

Un sólido platónico es, pues, una estructura esencial geométrica terciogenérica, pero soportada en las operaciones segundogenéricas de su artífice así como en los términos primogenéricos operados. Consideremos este otro ejemplo: el punto del infinito en el que se cruzan los lados paralelos de un triángulo birrectángulo no tiene por qué ser sustantivado como si fuera un punto situado más allá de cualquier segmento finito de las rectas correspondientes; decir que las rectas paralelas se cortan en un punto del infinito equivale a decir que no se cortan en ningún punto determinado. De la misma manera, el primer cardinal transfinito (*aleph cero*) tampoco tiene por qué ser sustantivado –como hacen tantos aficionados después de leer a Borges, según Bueno– como si fuera un cardinal situado más allá de la serie infinita de los números cardinales finitos, pues puede comprenderse como la relación entre esa serie tomada en conjunto y otros subconjuntos suyos (como puedan serlo el conjunto de los números pares y el conjunto de los números impares). Estas construcciones sólo pueden ser consideradas como uránicas cuando sustantivadas se las intenta situar en

algún lugar infinitamente distante de las series finitas respectivas que las soportan. Hay teoremas, matemáticos y signos. Pero, ante todo, sin matemáticos y sin signos no hay nada.

Para fijar ideas, prestemos atención al cuadro *El matemático renacentista Luca Pacioli demostrando uno de los teoremas de Euclides*, del pintor Jacopo di Barbari (1495). En este lienzo puede observarse cómo la construcción operatoria de un juego de figuras objetuales hace aparecer relaciones necesarias y, en especial, cómo M_1 (el círculo, las rectas y los triángulos dibujados en la pizarra, a la izquierda), M_2 (la conducta del matemático manipulando diversos aparatos como la pluma, la tiza o el compás, en el centro) y M_3 (las proposiciones del libro de Euclides, a la derecha) aparecen perfectamente conectados formando una especie de triángulo superpuesto al cuadro.



Figura 1: *Luca Pacioli*, por Jacopo di Barbari (1495)

3. Atendamos, ahora, al segundo factor que explicaba la pervivencia de la filosofía de las matemáticas, a la milagrosa efectividad de las matemáticas en las ciencias naturales. Obviamente, por la intrincación entre ontología y gnoseología, la respuesta a este interrogante no es independiente de la respuesta al anterior. Queremos decir con esto que la naturaleza que se conceda a los objetos matemáticos (ontología)

influye notablemente en la descripción de la adquisición de conocimiento matemático (gnoseología). Hemos visto que M_3 sin M_2 y, sobre todo, sin M_1, que funciona como primer analogado, no es nada; y ahora vamos a ver, recíprocamente, que sin un cierto orden geométrico M_3 serían imposibles los objetos corpóreos M_1 o su manipulación M_2, de modo que la conexión de los géneros está a la raíz del misterio de la irrazonable efectividad de las matemáticas.

Si Kant se preguntaba al comienzo de la *Crítica de la razón pura* cómo era posible la matemática (B 20), Bertrand Russell demandaba en *Los problemas de la filosofía* que todo filosofía que no se resolviese en mero escepticismo tenía que dar una respuesta a la cuestión. Hoy como ayer, el problema del fundamento de las matemáticas sigue siendo desconcertante; y afecta tanto a matemáticos y físicos como a filósofos, puesto que radica en la más *segura* y *efectiva* de las ciencias. Para el físico y matemático Eugene P. Wigner (1960), no había una explicación racional a la efectividad de las matemáticas en las ciencias naturales. Se trataba, a su juicio, de un regalo que los seres humanos no merecemos ni entendemos.

Nuestro acercamiento al tema va a proceder a través de la geometría y del planteamiento del *dilema de Benacerraf*. En 1973, en un artículo titulado «Mathematical Truth», el lógico Paul Benacerraf planteó un dilema filosófico que ha venido centrando todas las disputas sobre el estatuto de la matemática de entonces acá. La meta que persigue Benacerraf es mostrar la contradicción que existe entre qué es la verdad y cómo se llega a ella en matemáticas. Para ello comienza haciendo dos suposiciones bastante plausibles. Por un lado, asume que (A) para que las proposiciones matemáticas sean verdaderas han de existir los objetos matemáticos a que refieren y, por otro lado, que (B) para conocer un objeto ha de interactuarse causalmente con él. A continuación, razonando a partir de (A) y (B), deduce esta paradoja: o bien las matemáticas no son universales; o bien, siendo universales, son incognoscibles. En efecto, si las verdades matemáticas son universales, los objetos matemáticos no pueden ser contingentes (aplicando A) y, por tanto, al no ser espacio-temporales ni emitir o absorber energía, es imposible que lleguemos a conocerlos (aplicando B); pero, si aceptamos su conocimiento, la matemática pierde su rango de universalidad, ya que nosotros sólo conocemos cosas u objetos contingentes. En cuatro

palabras: si la Matemática es universal, nos queda demasiado lejos; y, si nos cae cerca, es que no es universal. En suma, Benacerraf se está interrogando por el viejo problema de la posibilidad de un conocimiento universal por parte de un ser contingente o, en términos más modernos, cómo llegar a lo objetivo (a lo necesario, como es el Teorema de Pitágoras) desde lo subjetivo (desde lo particular, como es el triángulo rectángulo concreto que el matemático dibuja en la pizarra).

Pues bien, ¿cómo resuelve cada filosofía de las matemáticas el dilema de Benacerraf? ¿Cuál es el estatuto de la matemática? ¿Es la colección de objetos matemáticos universal o particular? ¿Es el conocimiento matemático formal o material? Podemos esbozar el siguiente cuadro que recoge las cuatro posibles réplicas al dilema, según cómo cada corriente conciba la matemática:

	Universal	**Particular**
Formal	Platonismo-Logicismo	Intuicionismo
Material	Materialismo Formalista	Formalismo

Tabla 7

En efecto, para el platónico y el logicista la matemática es universal-formal. Universal porque sus objetos –sean de carácter matemático o lógico– son, en cualquier caso, *universales*. Formal porque el conocimiento matemático nos acerca, pase lo que pase, a las formas –matemáticas o lógicas– que ordenan el mundo. Por ejemplo, la geometría euclídea es, para Platón como para Frege, verdadera y dictamina a qué leyes debe plegarse el espacio ordinario, qué forma debe tomar. Sin embargo, esta postura no evita el dilema de Benacerraf, puesto que si las matemáticas son universales, nosotros (seres contingentes) no podemos conocerlas; y si las conocemos, es que no son sino particulares.

El intuicionista, decidido a esquivar el escollo que supone esta paradoja, prefiere salvar el conocimiento matemático a la universalidad de las matemáticas. Consecuentemente, declara que la matemática es particular-formal, primando la capacidad mental del matemático para inventarse nuevas formas matemáticas. Así, hablando de geometrías (en plural), Poincaré defiende el convencionalismo y afirma que carece de sentido preguntarse cuál geometría es la verdadera. Por su parte, buscando que nadie le moleste, el formalista concibe la matemática

como particular-material, en su expresión más débil. La geometría, como la aritmética o el álgebra, se convierte casi en un pasatiempo confinado a la hoja de papel.

Hasta donde se nos alcanza, el acierto del materialismo formalista de Gustavo Bueno consiste en haber alumbrado esa cuarta opción *universal-material* que hasta entonces había estado difuminada cuando no, directamente, oculta. Bueno mantiene que los matemáticos de carne y hueso construyen, de hecho, verdades universales. Con otros términos, desde una perspectiva materialista, el dilema de Benacerraf es un falso dilema. No hay tal dilema. ¡Es posible defender la universalidad de los teoremas matemáticos sin caer en rancios formalismos metafísicos! Que la *universalidad* que atribuimos a las matemáticas no sea *formal* sino *material* no implica menoscabo alguno en su grado de objetividad. Se trata de una universalidad operacional, basada en las operaciones de un «sujeto corpóreo» (con manos, laringe y músculos estriados) y no en las operaciones de un «sujeto metafísico» (dotado de alma o mente). La universalidad no tiene por qué fundarse en oscuros postulados metafísicos, que nos hablen de su carácter formal, sino en su construcción material. Los teoremas matemáticos no están depositados en el cielo o en el pensamiento, sino soportados sobre sus privilegiadas manifestaciones tipográficas. Por consiguiente, la geometría no es tanto el reflejo mental de una supuesta geometría universal o la trama espacial a priori del Universo, cuanto la construcción de un campo científico cerrado en un espacio de dos dimensiones (el papel o la pizarra) por parte de un grupo de hombres dedicados a ensamblar signos y gráficos. A fin de cuentas, una esfera topológica de siete dimensiones no es ni más ni menos que un determinado signo que guarda relaciones muy precisas con otros signos y gráficos (aunque estas relaciones ya no son, obviamente, corpóreas sino terciogenéricas). E insistimos en una idea que ya apuntamos anteriormente: la universalidad del Teorema de Pitágoras, por ejemplo, no se sustenta en la repetibilidad del diagrama original, sino en la recurrencia de los procesos internos de construcción de cada diagrama, que conducen al establecimiento de esta verdad como identidad sintética. La relación intemporal de identidad que nos arroja este teorema se funda en el levantamiento operatorio de esa figura artificiosa que es el «molino»: «si las relaciones obtenidas sobre términos gráficos singulares M_1 pueden

asumir un carácter universal es debido a la capacidad para reproducirse indefinidamente por obra del sujeto operatorio M_2 en cualquier dominio del espacio-2 infinito (es decir, en M_3)» (Bueno: 2009a, 2).

Toda ciencia es, por construcción, ciencia material; no existen las ciencias formales. La matemática, como la lógica, se construye manipulando signos (manchas de tinta o de carbonato cálcico). La matemática no teje la trama legal a priori del mundo sino un campo científico cerrado cuyas entidades son fabricadas a escala corporal. Son marcas macroscópicas practicadas manualmente. Pulverizamos, pues, la imagen de la matemática como *a priori formal de las cosas* de Kant o como *física racional* de Husserl, enfrascada en formas ideales como la recta o la circunferencia. El privilegio de la matemática no se apoya en ningún postulado platónico o pitagórico, sino en la extremada sencillez constitutiva de sus objetos, que siempre están con nosotros en tanto en cuanto son metros solidarios a nuestro cuerpo operatorio. En consecuencia, son trascendentales en sentido *positivo*, porque, allá donde haya un hombre, éste podrá trazarlos con sus manos:

> La escala en la que aparece la racionalidad y la logicidad es, suponemos, la escala de nuestro cuerpo, de nuestras manipulaciones (de nuestras *operaciones quirúrgicas*). Y aquí pondríamos el privilegio de las "ciencias formales" (frente a las ciencias reales), su llamado *apriorismo*, que no haríamos consistir tanto en su *vaciedad* (en la evacuación de todo contenido, en el *no referirse a la realidad*) cuanto en su materialidad artificiosa (combinatoria de elementos discretos), en su condición de *metros* solidarios a nuestro cuerpo manipulador, que no podemos menos de *llevar siempre con nosotros* cuando nos enfrentamos con el mundo. [...] Traduciendo la fórmula kantiana: es nuestro cuerpo operatorio (no nuestra *mente*, o nuestro *Ego*) aquello que acompaña siempre a todas nuestras *representaciones racionales* (Bueno: 1979a, 22-23).

Y matiza:

> El simbolismo de las fórmulas lógicas o matemáticas, entendidas, no como imágenes de relaciones ontológicas previamente dadas, sino como metros o cánones de ulteriores situaciones o procesos que pueden ser reconstruidos de acuerdo con ellas, sería acaso el simbolismo dotado de una mayor extensión dentro del universo racional (Bueno: 1980, 65).

En esta línea, hacemos nuestras las palabras de Javier de Lorenzo (2000, 132), que también concibe la matemática como praxis o hacer

constructivo, estratificado en tres estratos (hacer figural, hacer global, hacer computacional):

> Un teorema como el que establece que todo número natural se puede descomponer, de manera única, en factores primos, aunque sea un producto conceptual de la especie humana, es radicalmente objetivo y, por serlo, puede manejarse para la codificación gödeliana, para la elaboración de criptogramas o como caracterizador de dominios como los euclídeos... Objetividad que no puede identificarse con verdad en el sentido de que el teorema sea *verdadero* por adecuado a referencial alguno. Un sentido de verdad que no es el propio del hacer matemático [...] Como conocimiento, se convierte en elemento constitutivo y, a la vez, regulativo para otros saberes como el de la *physis*, a la que proporciona modelos posibles de lo real y, con ello, induce nuevas concepciones del Universo pero también nuevos instrumentos para su transformación.

4. Y, entonces, respondamos de una vez por todas, ¿por qué funciona el simbolismo matemático cuando se aplica al mundo real? ¿Por qué, a pesar de ser un artificio humano, parece ajustarse tan bien como la llave en su cerradura? Nuestra tesis es que la realidad se adapta a las matemáticas porque las operaciones racionales –en sentido corporal, no sólo mental– doblan el mundo, lo conforman, para que así sea. No es que el Libro de la Naturaleza esté escrito en caracteres matemáticos, como quería Galileo, sino que los científicos escriben el Libro de la Naturaleza empleando el lenguaje de las matemáticas. Como la matemática se usa en ciencia desde su origen en Grecia, su uso parece «natural». Tanto los científicos como los instrumentos de laboratorio inscriben compulsivamente, y la matemática es la ciencia de las inscripciones por antonomasia. Es más, las propias matemáticas se han extendido por el mundo gracias a las técnicas y las tecnologías: basta mirar en derredor nuestro para ver puntos, rectas, rectángulos, poliedros… Pero con el transcurso del tiempo esas técnicas y tecnologías se han vuelto transparentes, dando lugar a las especulaciones del racionalismo cientificista sobre si el mundo es matemático (Hacking: 2011; Norton Wise: 1993; Latour: 1992, 216 y 230-231). El éxito de las matemáticas es inseparable del impulso de nuestro cuerpo biológico y de esas instituciones humanas que son las ciencias, que transforman el propio mundo, que lo matematizan.

Ahora bien, los científicos tienden a maravillarse del éxito de ciertas estructuras matemáticas en su trato con la naturaleza (por ejemplo,

la ley del cuadrado inverso de la distancia de Newton o Coulomb). Pero cuántas otras estructuras matemáticas (como aquellas leyes que no dependen del cuadrado de la distancia sino del cubo u otra potencia) no han superado el paso del tiempo. Las estructuras matemáticas son flexibles y así, por ejemplo, la geometría riemanniana puede aplicarse en situaciones en que la geometría euclídea resulta demasiado rígida. En general, sólo recordamos las estructuras matemáticas exitosas, las que han llegado hasta nuestros días, olvidándonos tanto de la enorme fracción de conceptos matemáticos que no tienen aplicación como de los que no superaron el arduo proceso de selección artificial (Bueno: 2000, 68). La elección de modelos matemáticos en física no es arbitraria, sino que se somete a ciertas ligaduras impuestas por el problema físico pero también por el marco matemático (por otra parte, los modelos son esquemas simplificados de una realidad compleja, porque en su parte física requieren idealizaciones y en su parte matemática aproximaciones).

Curiosamente, a veces se nos olvida que una de las aplicaciones más exitosas de la matemática fue la del álgebra a la geometría entre los siglos XVI y XVII. En esta aplicación se detectan algunas pistas que pueden contribuir a desmitificar una posible respuesta a la pregunta enunciada. Primeramente, que la aplicación del álgebra a la geometría no estaba prefijada de antemano. La geometría sintética no contenía en su seno los rudimentos de la geometría analítica. No emerge de ella. Descartes hubo de transformar a fondo los materiales geométricos para adaptarlos al simbolismo algebraico, «para poder emplear letras»: sólo tras la introducción de los ejes y las coordenadas cartesianas pudo asociar a cada curva una ecuación y, por tanto, circular de la geometría al álgebra y, tras resolver el problema, del álgebra a la geometría.

Gustavo Bueno (1992, 901) explica de manera análoga el éxito de la matemática en astronomía:

> Las elipses keplerianas no son, desde luego, órbitas que estén *labradas* en los cielos, carriles por donde se deslizan los planetas, a la manera como las imaginaban, desde el realismo natural o ingenuo, los astrónomos antiguos; pero tampoco hay que reducirlas a la condición de «modelos mentales» (¿qué no sería mental?), a efectos ópticos producidos en el ojo del observador (o, lo que es parecido, aunque sea inverso, resultado de proyectar en los cielos ciertas formas geométricas, las más ajustadas, después de rechazar otras posibles

–Kepler ensayó dieciséis figuras antes de escoger la elíptica–). Sencillamente diremos que las elipses keplerianas pueden considerarse como la transformación objetiva de fenómenos de posición, dados sucesivamente en el espacio-tiempo (en el curso sucesivo del planeta en el cielo), en puntos simultáneos de un «plano secante» (de papel, por ejemplo); la conformación que las sucesiones de fenómenos espirales –que avanzan en el espacio-tiempo– reciben al proyectarse *objetivamente* en el plano de una hoja de papel (y no precisamente en la retina del ojo del observador).

En vez de decir que las cónicas de Apolonio se aplican a las trayectorias planetarias, puede decirse que las tramas planetarias se proyectan sobre una superficie (la arena de una playa, la pizarra, el papel o la pantalla de un ordenador) para, de este modo, integrarse en un sistema de curvas determinadas (Bueno: 2000, 69). Miramos a la realidad a la luz del farol de las matemáticas, no porque con esta luz penetremos en el fondo de la realidad (como si estuviera escrita en caracteres aritméticos o geométricos), sino porque con esta luz percibimos contornos de conglomerados cerrados, coordinables con el recorte que nuestras manipulaciones operan en el mundo (Bueno: 1992, 900).

Centrémonos finalmente en el caso de la estadística, pues no en vano es la rama de las matemáticas más útil en las ciencias naturales y sociales. Si aceptamos la tesis de la teoría del cierre de que las ciencias siempre provienen de técnicas anteriores, podemos acaso conjeturar que las leyes estadísticas toman en origen a los juegos de azar –a las monedas, dados, barajas y urnas, en un sentido fisicalista– como patrón a través de la operación del muestreo, de la selección de una muestra de una población. Con esto en mente puede reinterpretarse con un significado no metafísico la conocida sentencia debida a Quetelet: «La urna a la que interrogamos es la Naturaleza». Los estadísticos equiparan, implícitamente, la realización de una encuesta o la toma de una muestra con la extracción de bolas de una urna, que funciona como canon material (esta comparación era, de hecho, manifiesta en Bernoulli o Huygens, quien –con una nota macabra– ponía en relación la esperanza de vida con la elección de una papeleta de una urna en la que se indicaba la edad de defunción del habitante en cuestión).

Desde los juegos de azar, las leyes estadísticas –cuya regularidad se revela a escala del colectivo, no del individuo– se radiaron a la

astronomía y la geodesia, la sociología, la biología, la agricultura, la industria, &c. Las monedas, los dados, las barajas y las urnas son los modelos que utilizamos para razonar estadísticamente sobre los astros, las personas, los genes, las cosechas o la producción de coches. Para Gauss o Laplace, la probabilidad y la estadística aparecían en la observación de la naturaleza. Tras Karl Pearson, Fisher y Neyman lo hacen preferiblemente en el muestreo, cuando se extrae una muestra aleatoria de una población. En consecuencia, aunque los métodos estadísticos buscan regresar a estructuras que establecen vínculos entre los términos independientes en el límite de todo nexo operatorio (válidas tanto para los aficionados que salen de un estadio como para las moléculas de un gas que escapan de un recipiente), estas estructuras no son envolventes de género a especie sino de especie a especie, como –empero– una radiación desde los juegos de azar a la astronomía, la sociología, la física, la biología… Por ejemplo, la aplicación de la teoría de la probabilidad a la teoría cinética de los gases y la termodinámica, sobre todo con Maxwell, estuvo muy influida por los trabajos de Quetelet en física social: las moléculas de un gas son como los individuos de una población, ya que el desorden a escala individual se transforma en un orden estadístico a escala poblacional. La aplicabilidad de la estadística no descansa, por tanto, en el manido milagro de la irrazonable efectividad de las matemáticas, en una aplicabilidad genérica casi metafísica (una estructura común a priori que pide el principio), sino en una aplicabilidad específica, gracias a la analogía, que de las poblaciones de bolas circula a las poblaciones humanas, genéticas, econométricas, &c. La consabida interdisciplinariedad estadística, con su transferencia de métodos de una disciplina a otra, queda así explicada *a posteriori* y no en virtud de una metafísica aplicabilidad *a priori*.

La estadística ha generado un mundo que se ha ido haciendo numérico hasta el último de sus rincones. La ciencia estadística funciona como un patrón de objetividad y estandarización que se aplica en las mediciones oficiales, los procesos de fabricación, las investigaciones de laboratorio o las de biólogos, psicólogos y economistas, entre otros. Y si la teoría de juegos es una suerte de *geometría de las decisiones* (Alvargonzález: 2000), la estadística moderna es una suerte de *geometría de las inferencias* (Madrid Casado: 2015).

A nuestro juicio, esta manera de argumentar es el modo de salvar el obstáculo que Wigner (1960, 1) apuntaba: cuando dos antiguos compañeros de pupitre volvieron a verse pasados los años, uno de ellos, que era matemático, quiso contarle al otro en qué trabajaba y le explicó que estudiaba tendencias en grandes poblaciones y que estas se ajustaban a la campana de Gauss. El otro compañero, cuando vio que la fórmula de la campana de Gauss implicaba al número π, no pudo reprimir una sonrisa y espetarle incrédulo: ¿no me estarás gastando una broma? ¿qué tiene que ver la población con la longitud de la circunferencia? Esta conexión inesperada sólo es sorprendente *a priori*; porque *a posteriori* puede trazarse la genealogía de la conexión, siendo esta reconstrucción histórica el antídoto para no dejarse seducir por la retórica del milagro de la efectividad de las matemáticas (π entra en la teoría estadística para normalizar la distribución gaussiana). Por decirlo con Bueno (1992, 882): «El que no es matemático –decía Aristóteles– se asombra de la inconmensurabilidad de la diagonal y del lado del cuadrado; el matemático, se asombra del asombro de quien no es matemático».

Capítulo 11
Kant y los «extraterrestres» de Hollywood

1. Antes de volver a la filosofía de la física, queremos extraer unas cuantas lecciones epistemológicas de nuestro paseo por la filosofía de las matemáticas.

Toda filosofía de las matemáticas que evite los rigores del formalismo o del materialismo formalista está condenada a volver a caer en las garras del idealismo epistemológico. Se quiera o no, el platonismo, el logicismo y el intuicionismo son deudores, con más o menos trapío, de este idealismo. Y la dificultad con que tropieza todo idealismo matemático es, a saber, que es incapaz de dar cuenta del hacer cotidiano del matemático, del quehacer vital del matemático. En su práctica habitual, el matemático manipula signos tipográficos, como manchas de tinta (números, incógnitas, variables…) o de tiza (rectas, curvas…), modelos en papel de superficies (planos, cilindros…), modelos en cartón-piedra de sólidos (esferas, poliedros…), calculadoras, ordenadores (programas de cálculo numérico o simbólico, de representación de funciones o sistemas dinámicos, de estadística o investigación operativa…), &c. Es decir, la praxis matemática precisa del uso de cosas, de materiales. Esto es un hecho. No es algo opinable. Ahora bien, desde la percepción idealista (anti-materialista), ¿cómo conciliar este operar material del matemático con que los objetos matemáticos son, supuestamente, espirituales? Se responderá aduciendo el manido postulado *ad hoc* de que los objetos matemáticos «resultan

operativamente manipulables en virtud de encarnaciones sensibles» (por decirlo con Husserl). Pero por sutil que sea este postulado, sigue siendo incapaz de tender un puente que salve el infinito abismo que separa la vertiente material y la vertiente inmaterial en el precipicio del dualismo. En efecto, si se dota a los objetos matemáticos –por ejemplo, geométricos– de un carácter eminentemente ideal, entonces rebrota el archiconocido problema de explicar cómo interactúa el cuerpo material del matemático –por ejemplo, del geómetra, que a fin de cuentas es quien dibuja las demostraciones estereométricas– con dicha colección espiritual de objetos (el dilema de Benacerraf). La aporía dualista es, para quien vive preso de ella, insalvable (Bueno: 2000, 61).

Pero si aceptamos que los objetos matemáticos son, en esencia, esos términos fisicalistas encerrados en el plano del papel o la pizarra, resulta que *saber* matemáticas es *hacer* matemáticas. La respuesta del materialismo frente al idealismo es que las matemáticas son un *saber hacer* (Bueno: 2000, 57). El matemático está manipulando signos, emitiendo palabras y, también, manejando revistas y libros, como acompañamientos. El ordenador, antes que un sustituto del cerebro (como si nuestra inteligencia fuese algorítmica), es un aparato *a mano* del matemático. Otro más. Como los signos, la pluma, el papel, la tiza, la pizarra, los dibujos, el compás... Hasta el aprendiz de matemático opera quirúrgicamente, manualmente. Y las demostraciones matemáticas únicamente adquieren ese estatus cuando son realizadas, cuando son materializadas. Saber un determinado teorema matemático no es sólo conocer su enunciado sino también conocer su demostración. Y las demostraciones necesariamente hay que hacerlas. Como ha remarcado el etnometodólogo Eric Livingston (1986), el trabajo de cuaderno y de pizarra compone el curso de razonamiento matemático, aunque este curso zigzagueante con tachaduras y correcciones se relegue al presentar la solución, y donde «es la presencia corpórea de dos matemáticos trabajando en la pizarra lo que les permite hallar, en los escritos y el habla del otro, la cosa real» (Lynch, Livingston & Garfinkel: 1983, 176).

La matemática es, pues, como la música. Para los pitagóricos, la música era, como diría Leibniz dos mil años después, un ejercicio de aritmética secreta, por cuanto la proporción domina las relaciones

entre las longitudes de las cuerdas correspondientes a las notas. La música era al tiempo lo que la geometría al espacio, es decir, dibujo en el tiempo. También Borges comparaba la matemática con la música, porque –es lo que quería decir– ambas podían prescindir del Universo. A nosotros, la comparación nos parece muy pertinente, pero justo por todo lo contrario: la matemática, como la música, no puede prescindir de sus agentes ni de sus instrumentos. Sin organistas ni órganos el *Clave bien temperado* de Bach no suena, igual que sin matemáticos y sin triángulos rectángulos –imaginemos que fueran tan imposibles de construir como algunos dibujos de Escher– el Teorema de Pitágoras se desvanece en el aire sin dejar rastro. Se desintegraría justo como si no fuera verdad. ¡Qué casualidad!

La música, para ser música, ha de sonar, y los que la reducen a partituras (formalistas), a imaginaciones intracraneales o ideales (intuicionistas), a melodía de coros angélicos (logicistas) o a melodía de esferas –que sólo Pitágoras escuchaba– (platonismo) confunden la parte con el todo. Las matemáticas, para ganar tal condición, han de construirse operatoriamente, no vale con verlas en los tratados o con imaginarlas espiritualmente. Los sonidos y los signos son, respectivamente, los materiales de la música y la matemática. Sin sonidos la música no suena, y sin signos no hay matemática. Por fuerza, es preciso entender las ciencias matemáticas como ciencias materiales, con sus demostraciones ejecutadas por matemáticos de carne y hueso.

Repitámoslo: la matemática es un producto humano caracterizado por ser un *saber hacer*, como la música. Y de igual manera que uno no aprende a tocar la guitarra viendo tocar a un guitarrista, sino tocando por sí mismo, tampoco se aprende matemáticas si no es haciéndolas. Uno no sabe matemáticas si no hace matemáticas. Por decirlo otra vez: no hay ciencia infusa –ni espiritual ni formal– sino ciencias materiales.

2. Disparemos la pregunta a bocajarro: ¿quién es el principal culpable de que el sujeto gnoseológico se haya venido sistemáticamente identificando con una suerte de sujeto metafísico incorpóreo que carece de manos y sólo posee intelecto? K-A-N-T: la punta de la lengua emprende un corto viaje hasta apoyarse en el arco de los dientes. Tanto el platonismo, como el logicismo, el intuicionismo y casi el formalismo se mueven empleando el sistema de coordenadas que trazara este

Aristóteles de la Modernidad. El idealismo kantiano sigue aún vivo entre nosotros y –parafraseando a Bueno (2004)– nuestro homenaje a Kant es reconocer la vigencia de su concepción de las matemáticas entre filósofos y matemáticos de nuestros días, y contribuir a su demolición redefiniendo el materialismo formalista por oposición a Kant.

Kant fue –como argumenta Bueno (1992, 475-479)– el último escolástico y el primer cura laico, pues toca un órganon que tiene aún el mismo teclado que el órgano de Suárez o el de Wolff. El puntual filósofo de Königsberg canonizó la idea medieval de que el ser humano es más especulativo que práctico. Su teoría del conocimiento refleja que es obra de un sabio antes que de un científico. Por ejemplo, la filosofía kantiana de las matemáticas entroniza el espacio y el tiempo como formas a priori de la intuición de que parten la geometría y la aritmética. (Hasta Hamilton escribiría una monografía titulada *Algebra as the Science of Pure Time*.) En consecuencia, la construcción de las verdades matemáticas será puramente formal, inmaterial. En efecto, los juicios sintéticos a priori de la geometría y la aritmética se formularán mediante un construccionismo figural y esquemático de rasgos marcadamente metafísicos. Los esquemas trascendentales geométricos (por ejemplo, el cono) y aritméticos (los números) son imágenes mentales. Punto.

Escribe Gustavo Bueno en *Teoría del cierre categorial* que «las geometrías no euclidianas constituyeron el motivo más serio para poner en cuestión el idealismo trascendental kantiano» (1992, 679) y nuestra intención no es otra que meter el dedo en la llaga. Ironías aparte, el audaz descubrimiento de las geometrías no euclídeas, cada una con su propio espacio, trituró la ocurrencia kantiana de una única geometría (la euclídea) construida sobre un único espacio, sobre una única forma espacial a priori de la intuición externa. Los espacios *n*-dimensionales –en particular, el espacio tridimensional que nos circunda– son construcciones históricas. Es necesario recuperar los componentes zoológicos de la sensibilidad que Kant cortó por lo sano. Del mismo modo, tampoco el tiempo es la forma a priori de la intuición interna. Sin respiración, sin latidos, que son procesos corporales, no hay sentido del tiempo. En suma, desde Kant, «el sujeto ya no podrá ser definido como sujeto corpóreo, dado que el cuerpo, o la corporeidad, resulta ser ella misma puesta por las formas a priori de la sensi-

bilidad (espacio y tiempo)» (Bueno: 2004, 12). Con razón confesaba Russell (1976, 276) que Kant le ponía enfermo. Cantor, por su parte, se refería a Kant como «aquel sofístico filisteo que sabía tan poco de matemáticas» (Russell: 1976, 76).

Aunque el psicologismo kantiano viene de atrás... Desde Platón, parece como si el cuerpo fuera una rémora para el verdadero conocimiento, que ha de ser íntegramente ideal, lo más alejado de lo material. El diálogo VII de *La República* ya pone de manifiesto este error: Sócrates considera la geometría como ciencia especulativa de lo que es siempre, no de lo que nace y perece en el tiempo, en la que las operaciones prácticas de cuadrar o prolongar de los geómetras no son más que muletillas. Si el cuerpo fuera un lastre para el ojo del alma, el mejor conocimiento sobrevendría –como captara Schopenhauer– cuando hayamos muerto, cuando nuestra alma flote por entero libre. Desgraciadamente, continuaba el pesimista, no conocemos de nada a esa damisela llamada alma.

Por nuestra parte, se trata de anteponer lo práctico a lo teórico. La razón práctica es la razón originaria, y la razón especulativa es su resultante. Tenemos que «sustituir el entendimiento kantiano por la subjetividad corpórea operatoria, o, si se quiere, la mente por el cuerpo del mismo sujeto operatorio» (Bueno: 1992, 439). La racionalidad tiene, incluso, más que ver con las manos que con la laringe o los ojos. No es algo sobreañadido al dominio de la ciencia, y que los humanos pusiéramos como aderezo gracias a nuestras mentes racionales, sino la misma composición operatoria –técnica y científica– de los materiales de la ciencia por los sujetos corpóreos llamados científicos. Éste es el quid de la cuestión: «Desde hace muchos años, y en la forma de argumento dialéctico *ad hominem*[15], venimos proponiendo como referencia transcendental, ineludible en una perspectiva filosófica, al sujeto corpóreo (y no por ejemplo a un cogito cartesiano)» (Bueno: 1993, 15). No en vano, «algebrista» significa etimológicamente «el que manipula huesos» (y así aparece en *El Quijote*), y este significado irá transformándose hasta llegar a «el que manipula las *x* de la ecuación».

15 «El *ego* cartesiano es un subproducto de la vida urbana, un sujeto que habita en un recinto encristalado y caldeado por una estufa: un *ego* cuya *epojé* queda en ridículo cuando lo enfrentamos, aunque sólo sea en una selva imaginaria (tan imaginaria como el mismo *cogito*), con un oso que le salga al paso» (Bueno: 1992, 863).

Igualmente, «no es posible enseñar geometría sin geometrizar» (Bueno: 1992, 399). De hecho, como apuntó Bueno (1982, 128) siguiendo en esto el *Cratilo* de Platón, «el lenguaje fonético es, él mismo, una acción, una *praxis*». Las palabras son instrumentos, como pueda serlo la lanzadera para tejer, que dijera Platón (o la caja de herramientas, que dijera Wittgenstein II, hablando en prosa sin saberlo). Con palabras de Bueno (1982, 128):

> El hablar es un proceso operatorio y las *operaciones lingüísticas* son tan operatorias como las "quirúrgicas". No son las manos y sus dedos [salvo –añadimos nosotros– que estemos *chateando* por Internet, en cuyo caso sí son nuestras manos y dedos los que *hablan*], pero sí los músculos que gobiernan las cuerdas vocales y, mucho más, los músculos de los órganos supralaríngeos (sobre todo la lengua, porque sólo San Reparato, por milagro, podía hablar después de que le fuese cortada).

Hablar es fundamentalmente gesticular. «El *homo loquens* (*homo sapiens*) es indisociable del *homo faber*» (Bueno: 1992, 111). Y «más apropiado que partir de la sentencia según la cual "los límites del lenguaje son los límites del mundo" (suponiendo que los tenga) sería partir de la sentencia inversa: "los límites del mundo son los límites del lenguaje", pues los límites del mundo se establecen fundamentalmente por nuestras operaciones tecnológicas, prácticas» (Bueno: 1992, 446).

Ahora bien, ¿sería posible una matemática más mental que corporal? ¿Una matemática hablada (sin manos, sin pizarras)? Nuestra respuesta es contundente: no. No habría ciencia. Pero, se dirá, ha habido grandes matemáticos ciegos. Por ejemplo: Euler, que a su regreso a Rusia a petición de Catalina la Grande se quedó ciego y pasó los últimos diecisiete años de vida privado de visión. Es cierto, sin duda. Pero Euler gozaba de una memoria prodigiosa. Y, para dar la réplica a este contraejemplo, nuestra hipótesis sobre las matemáticas habladas es que los matemáticos ciegos, como Euler al final de sus días, siguen los razonamientos empleando su memoria como pizarra, *escribiendo* en ella. Estos matemáticos han hecho introspección de las conductas aprendidas y los hábitos adquiridos y, en cierto modo, cabría decir que *simulan* las operaciones quirúrgicas, al igual que un músico experto reproduce en su cabeza el acorde de unas voces o un ajedrecista aventajado imagina el tablero y la posición de una partida. La labor

matemática seguiría a una escala manual antes que puramente mental. Hacking (2011) mantiene que lo mismo vale para Stephen Hawking, al que su enfermedad no le deja dibujar diagramas, pero que también los habría interiorizado. Y así lo sugiere Bueno (1992, 486):

> El entendimiento operativo puro (= desligado de los objetos empíricos materiales) puede apoyarse en la experiencia psicológica de las operaciones con imágenes, en la experiencia de la "imaginación combinatoria" (apoyada en movimientos musculares, linguales o de otro tipo). ¿Qué estudiante de matemáticas, ocupado con los logaritmos neperianos, no ha "repasado mentalmente" –meditando con los ojos cerrados, acaso obligado por un defecto en su vista– la definición del número *e* y, sobre todo, no sólo ha "repasado" sino que ha operado con esa fórmula?

Y así lo atestiguaba Einstein:

> Las palabras o el lenguaje, ya sea escrito o hablado, no parecen jugar ningún papel en mi mecanismo de pensamiento. Las entidades físicas que parecen servir como elementos de pensamiento son ciertos signos o imágenes más o menos claras que pueden reproducirse y combinarse "voluntariamente"... Los elementos antes mencionados son, en mi caso, de tipo visual y muscular (Penrose: 2006, 603-604).

No se trata de ignorar la actividad mental en nombre de un antimentalismo conductista, sino de evitar su hipóstasis, su sustancialización, olvidando que las operaciones manuales son las originarias. El hombre piensa porque tiene manos, decía Anaxágoras. Y nosotros podríamos acaso añadir parafraseando el filosofema escolástico: «Nihil est in intellectu quod prius non fuerit in manu». A veces, leyendo la *Crítica de la razón pura*, uno tiene la sensación de que es como si Kant no hubiera tenido manos. Y, sin embargo, la industria cinematográfica ha dado un giro copernicano. Contra Kant pero sin saberlo, Hollywood ha captado la conexión realmente existente entre racionalidad y manos: ¡los «extraterrestres» de Hollywood, si son inteligentes, siempre poseen manos u otros apéndices análogos!

Capítulo 12
Circularismo: arquitectos y abejas materialistas

La filosofía actual de la ciencia y, en especial, de la física surgió en los años treinta del siglo XX en torno al positivismo lógico que el Círculo de Viena abanderó frente a la filosofía tradicional de orientación adecuacionista que venía rodando desde Galileo hasta Einstein. Pero la creencia positivista en una ciencia segura como sistema de proposiciones que describen de forma correcta el mundo, fue contestada contundentemente por Karl Popper. Aunque la defensa de la falibilidad y del carácter conjetural del conocimiento científico contaba ya con antecedentes notables, Popper la esgrimió para criticar la caracterización de la ciencia como conocimiento fundamentado (demostrado, verificado, confirmado) sobre una base firme (experiencia, axiomas evidentes). Para la imagen prevaleciente durante toda la modernidad, la ciencia era *episteme*, esto es, conocimiento integrado por verdades probadas que se establecen permanentemente y se acumulan una tras otra formando un cuerpo sistemático. Según esto, los problemas centrales de la gnoseología eran el de la justificación de los conocimientos (la búsqueda de sus fundamentos) y el del crecimiento del conocimiento (la búsqueda de un método). Como alternativa al adecuacionismo tradicional y al descripcionismo positivista, Popper ofreció un conocimiento científico que transita siempre hipotético y que no puede ser justificado o fundamentado definitivamente, sino solamente falsado o refutado, y aún esto conjeturalmente. A pesar del

viraje que supuso el teoreticismo falsacionista, éste permanece ligado en aspectos esenciales a la visión anterior de la ciencia. Sigue contando, por ejemplo, con la idea de un método científico único, con una concepción racional del progreso basada en decisiones de los científicos al comparar varias teorías entre sí, y con una concepción realista de las teorías según la cual éstas nos acercan a una representación verdadera del mundo.

La imagen de la ciencia de Popper sufrió a su vez un desgaste considerable a manos de Kuhn, Feyerabend y sus epígonos: los sociólogos del conocimiento científico. Perdida la esperanza de obtener un punto arquimediano sobre el que apoyar de una vez por todas la certidumbre de la ciencia, el camino estaba preparado para una ruptura aún más profunda. La nueva actitud hacia la ciencia desmontó uno a uno los viejos dogmas que todavía quedaban en pie tras la crítica falsacionista. Por de pronto abandonó la pretensión de establecer algún tipo de criterio de demarcación entre la ciencia y la no-ciencia, cuestionó la existencia de un método científico universal, destacó la influencia de los factores externos en la comunidad científica, y desbancó la idea de progreso científico al insistir en el carácter discontinuo del cambio científico y la carencia de una instancia neutral de evaluación de teorías rivales. Tras una revolución científica, el paradigma aceptado puebla el mundo de objetos diferentes, de manera que los científicos viven en un mundo nuevo. El estudio de la historia y de la práctica real de la ciencia mostró que, lejos de ser el conocimiento aséptico y autónomo que se preconizaba, la ciencia, como cualquier otro producto cultural, venía socialmente condicionada y era «mucho más cenagosa e irracional que su imagen metodológica» (Feyerabend: 1981, 166).

Ahora bien, es ocasión de denunciar un tópico: no debe confundirse la crisis de la filosofía de la ciencia del siglo XX con la crisis de toda filosofía de la ciencia. Tanto Popper –con su teoría de la verdad científica como algo conjetural, frágil– como Kuhn –con su teoría de la ciencia de corte sociologista, donde la verdad no es más que el fruto del consenso entre los especialistas– allanaron el camino (sin quererlo) a la difusión del relativismo gnoseológico. Pero son los programas gnoseológicos clásicos, que comportan una visión fuertemente teoreticista de la ciencia como mero conjunto de teorías o hipótesis, los que han hecho *crack*. De hecho, en los últimos años el debate gnoseológico

se ha reavivado sobremanera con una proliferación de posiciones, que van desde los realismos de Giere, Kitcher o Stathis Psillos al realismo estructural, el neopositivismo empirista de Van Fraassen, el neopragmatismo de Laudan o los posicionamientos más extremos de algunos partidarios de los «nuevos estudios de la ciencia».

La crítica a las tres primeras familias de filosofías de la física reitera la imposibilidad de mantener la distinción dicotómica entre materia y forma, entre «hechos» y «teorías», que permite referirse a unos hechos desvelables al margen de todo supuesto teórico (descripcionismo) o a unas teorías construidas al margen de toda experiencia empírica (teoreticismo), así como a una serie de hechos y teorías en postulada correspondencia (adecuacionismo). Tanto la tesis descripcionista de que la física está levantada sobre la sólida base de unos enunciados que expresan cómo es realmente el mundo, como la tesis teoreticista de que la física consiste en teorías desconectadas de la verdad, así como el postulado adecuacionista que establece que las teorías físicas y los hechos físicos están en correspondencia (por virtud de no se sabe qué o quién) son extrapolaciones o hipóstasis del papel que la materia o la forma juegan en la física. Si retiramos esta tajante distinción, tal y como fue esgrimida por el adecuacionismo y el descripcionismo, entonces hay que rechazar la división de la realidad científica en partes teóricas y partes prácticas, como sabía el teoreticismo. Toda observación, según esta corriente, está cargada de teoría; pero la tesis recíproca –tesis que el teoreticismo ahogó al sumergirse en el océano teórico– también es cierta: toda teoría científica está necesariamente cargada de observación, medición y experimentación. Toda práctica está cargada de teoría y, recíprocamente, toda teoría está cargada de práctica. La teoría sin práctica es vacía; la práctica sin teoría es ciega. No hay hechos puros, como no hay teorías puras. Entre teorías y hechos se da una fértil circularidad. Los datos hacen los modelos y los modelos hacen los datos. El circularismo es, pues, la única opción que queda cuando se han transitado los callejones sin salida a que conducen las otras posiciones gnoseológicas.

La mayoría de las discusiones post-kuhnianas siguen ancladas en una concepción de la ciencia casi exclusivamente logoteórica, que ignora en gran medida su carácter técnico y operativo. No se produce ciencia intercambiando teorías sino actuando sobre la realidad. Para

conocer científicamente hay que transformar el mundo en una probeta o en un ciclotrón. Lo que los científicos manejan o manipulan, equipados con las teorías y los modelos, no son otras teorías u otros modelos, sino la realidad misma por medio de los aparatos. Es la realidad la que confirma o no una predicción y la que se deja o no manipular de una determinada manera. El científico es más activo que contemplativo. Está actuando antes que especulando sobre el mundo.

Por de pronto, los filósofos circularistas de la física van a huir de las manidas comparaciones del científico con el pintor, el recolector o el pescador. Estos filósofos imaginan al científico como *músico* o, mejor, como *arquitecto* cuya meta es componer o construir el mundo antes que representarlo, describirlo o conocerlo. El *arquitecto* dedica su vida a construir formas nuevas empleando materiales ya dados. El edificio científico es real. No es reducible a los planos mentales del arquitecto (a los constructos teóricos del teoreticista), porque están los propios sillares, vigas y columnas trabados entre sí (teorías y hechos bien mezclados). A la manera como la arquitectura consiste –por así decir– en mover grandes piedras empleando la geometría y las grúas, la física consiste en manejar o manipular diversas entidades empleando la teoría y los aparatos. La física es, al igual que las matemáticas, como la música. La música, para ser música, ha de sonar y los que la reducen a partituras o imaginaciones intracraneales confunden la parte con el todo. *Mutatis mutandis*, la física, para ser física, ha de comprender activamente la manipulación de cosas (masas, ondas, electrones, &c.).

Por otro lado, los filósofos circularistas de la física –enseguida presentaremos a dos de ellos: Gustavo Bueno e Ian Hacking– van a sostener que la mejor alegoría del científico es aquella que lo identifica con la *abeja* baconiana del *Novum Organum*, la abeja «que guarda el punto medio entre la hormiga y la araña, pues recoge sus materiales en las flores de las huertas y los jardines, pero luego los transforma y destila empleando sus propios medios» (I, 95). Para Bueno (1996a, 30), la ciencia es «como una suerte de panal construido por abejas que no se limitan a sacar de su vientre, como las arañas [teoreticistas], los materiales de su construcción, sino que digieren y organizan el polen extraído del medio exterior», como las hormigas (descripcionistas). Para Hacking (1996, 289), «la ciencia, como escribió Bacon, debe ser

como la abeja, con los talentos de la hormiga y de la araña, pero capaz de algo más, de digerir y de interpretar el experimento y la especulación». El circularismo hereda el constructivismo del teoreticismo, pero no lo confina al plano teórico. Dejándose llevar por la atracción de la materia que guió al descripcionista, el circularista extiende ese constructivismo al plano práctico. El científico no sólo compone teorías sino que también cambia la realidad con los instrumentos y artefactos que construye. «Ni la mano sola ni el espíritu abandonado a sí mismo –afirmaba Francis Bacon en *Novum Organum* (I, 2)– tienen gran potencia; para realizar la obra se requieren instrumentos que tan necesarios son a la inteligencia como a la mano». Retrospectivamente, Hacking (2009, 109) se ve a sí mismo como encabezando una suerte de movimiento de regreso a Francis Bacon; y recientemente, Bueno (2015, 24-26) ha vuelto a encarecer la visión de las ciencias del Canciller Bacon. Con razón escribió Ortega y Gasset en *Meditación de la técnica* que el hombre era el animal maquinista por excelencia. La mayoría de filósofos de la ciencia han *contado con* pero no han *reparado en* la intrincación realmente existente entre ciencias, técnicas y tecnologías.

Por último, antes de pasar a explicar las filosofías de la física de Bueno y Hacking, hay que decir que, aunque suene truculento, el enemigo mortal del circularismo es el adecuacionismo. El adecuacionismo adscribe a la ciencia la función de conocer la realidad tal como es en sí misma; por el contrario, el circularismo sustenta que la función de la ciencia es hacer: transformar el mundo. Las teorías de la ciencia circularistas constituyen versiones límite del principio del *verum ipsum factum* de Giambattista Vico. Para este filósofo, que vivió a caballo entre los siglos XVII y XVIII, el lema *verum ipsum factum* significaba que la verdad es el resultado del hacer, es decir, que los hombres conocemos sólo lo que producimos. Ahora bien, Vico entendía la producción en un sentido ideal y, por esta razón, las matemáticas eran su canon del saber, ya que se le aparecían como pura construcción mental. Para nosotros, varios siglos después, la producción tiene que entenderse en un sentido eminentemente material, de manera que pueda reinterpretarse el pragmatismo histórico de Vico así: conocemos lo que construimos materialmente. Desde esta perspectiva, la matemática queda enlazada –como va visto– a los signos corpóreos que soporta

el papel; y las ciencias físicas, por su parte, trascenderán el mundo libresco, porque no se reducen a fórmulas y reclaman la presencia de instrumentos y aparatos. El circularismo es, empero, la antítesis más acabada del adecuacionismo. Ya lo sabía Ortega (1979, 34), para quien «no puede haber nada más contrario a lo que es “conocer la Realidad”, que “hacer la Realidad”». Además,

> Si la concepción del adecuacionismo aristotélico quedaba bien representada por la imagen del *discurso* (el flujo descendente del curso de un río), la concepción circularista de la ciencia queda bien representada por la imagen de un *torbellino*, del vórtice que se forma en un mar a partir de sus mismas moléculas y cuya forma configura en virtud del mismo movimiento del remolino. Abundando en estas imágenes: cada remolino (cada unidad científica) aparecerá en puntos distintos (próximos o lejanos) del mar representativo de los fenómenos. Algunos vórtices se mantendrán en mutuo aislamiento, otros intersectarán, dando lugar a un torbellino más amplio. En ningún caso tiene sentido aquí hablar de una ciencia única, unitaria. Si abandonamos el terreno de la metáfora y volvemos a mirar a los “campos de fenómenos”, la concepción circularista se nos muestra internamente asociada a los “instrumentos” (aparatos) con los cuales estos fenómenos comienzan a girar en torbellino; la concepción circularista del movimiento de la materia fenoménica es solidaria de los motores de ese movimiento, las ciencias proceden de las tecnologías, y esta tesis nos invitará, junto con otras, a llevar adelante un cambio decisivo en la interpretación del significado gnoseológico de los aparatos científicos (Bueno: 1992, 94-95).

12.1 De la academia al laboratorio, pasando por el taller

1. El énfasis circularista en la praxis científica está produciendo una concepción de la ciencia dramáticamente nueva. La práctica científica dibuja dentro de la órbita de la ciencia no sólo teorías y modelos, sino también hechos, instrumentos, aparatos, máquinas y seres humanos. Lo que distingue esta concepción de las tradicionales es que no comprende la ciencia como una construcción en términos conceptuales y lingüísticos sino como una actividad social y material.

No deja de ser chocante que el giro praxiológico en el estudio de la ciencia proceda originariamente de la última oleada de la sociología de la ciencia, de los estudios de laboratorio. La sociología del conocimiento científico nació, como vimos, durante la década de 1970. Los nombres de los padres resuenan en los oídos: David Bloor, Barry Barnes, Harry Collins, Trevor Pinch... A sus trabajos seminales

se uniría el estudio etnográfico *Laboratory Life* de Bruno Latour y Steve Woolgar, publicado en 1979, así como el estudio de laboratorio *The Manufacture of Knowledge* de Karin Knorr-Cetina, publicado en 1981. Desde los años 80, la sociología de la ciencia ha conocido un paulatino pero lento desarrollo, debido –según asegura Andrew Pickering (1992, 6), uno de sus conspicuos representantes– a la ausencia de unos buenos estudios de campo que terminen por alejar la imagen excesivamente abstracta de la ciencia de algunos sociólogos del conocimiento.

Pero, al tiempo que la sociología comenzaba a llamar la atención sobre los aspectos prácticos de la ciencia, una nueva corriente surgía en las aguas de la filosofía anglosajona de la ciencia: el nuevo experimentalismo. La filosofía analítica de la ciencia había venido dedicando poca atención a la práctica científica. De hecho, incluso el giro historicista mantenía, al igual que la Concepción Heredada o sintáctica y la actual concepción semántica, una fuerte orientación teoreticista. Por su tendencia a centrarse en la historia de las teorías científicas, Kuhn constituye –como Carnap o Popper– uno de los máximos exponentes de la «miseria del teoreticismo» (Ferreirós y Ordóñez: 2002). Sin embargo, a comienzos de los años 80, algo estaba a punto de cambiar. *Representing and Intervening* de Ian Hacking (1983a) es el hito que marca el cambio de rumbo en la filosofía de la ciencia. Hacking enfatizó que la ciencia es hacer (intervenir) y no sólo conocer (representar), reivindicando el papel del experimento en ciencia. La concepción de la ciencia que acuñó Hacking fue bautizada con el nombre de *new experimentalism* por Robert Ackermann (1989). Dentro del nuevo experimentalismo, que proclama una suerte de retorno a Francis Bacon, se cuentan los trabajos pioneros de Nancy Cartwright (1983), Deborah Mayo (1994) o Allan Franklin (1989), que han contribuido a invertir la tradicional jerarquía de la teoría sobre el experimento.

Estas ideas que estaban abriéndose paso en los ámbitos sociológico y filosófico fueron, precisamente, el caldo de cultivo de una nueva historiografía de la ciencia. No tardando mucho, autores como Steven Shapin y Simon Schaffer (1985), Allan Franklin (1986) o Peter Galison (1987) comenzaron a escribir la historia de la experimentación e instrumentación en física, química, biología, &c. Estos estudios

nos han mostrado al experimento no sólo confirmando o refutando teorías, sino exhibiendo fenómenos que demandan una explicación y hasta evidenciando nuevos componentes de la materia. Nos han enseñado que la práctica y el experimento tienen vida propia, independiente de la teoría.

En la trinchera circularista nos encontramos, empero, al filósofo canadiense Ian Hacking y al filósofo español Gustavo Bueno. Sus filosofías de la ciencia –el *nuevo experimentalismo* y la *teoría del cierre categorial*– han suscitado la evocadora imagen del físico como abeja que hemos dibujado y que reclama la atención de las líneas que siguen. Ambas teorías de la ciencia comparten bastantes ideas, y esta convergencia entre Hacking y Bueno resulta más sorprendente todavía si atendemos al hecho de que provienen de escuelas filosóficas muy diferentes: aquél del pragmatismo y la filosofía analítica, y éste del marxismo y la filosofía escolástica (cuya sutilidad y calidad en vano tratará de enmascararse).

2. Desde el momento en que consideramos los pesos, los muelles, las balanzas, los metros, los relojes, los dinamómetros, los barómetros, las bombas de vacío, los imanes, los electroscopios, los amperímetros, los telescopios, los microscopios, los aceleradores de partículas y las modernas computadoras como *materiales* de las ciencias físicas, al igual que los modelos y las teorías, los libros y las revistas, la filosofía de la física *experimenta* un giro de ciento ochenta grados. Estos contenidos, producto de la industria humana, son parte del cuerpo de la física, y sólo –como afirma Bueno (1992, 101)– la continuada presión de la antigua concepción metafísica (que sustancializa los símbolos y los pensamientos) puede hacer creer que la física se ha replegado al lenguaje (a los libros, a las teorías, incluso a la mente) y concluir que subsistiría hasta si el mundo real desapareciera, en una suerte de idílico y celestial Mundo de las Ideas.

Precisamente, con motivo del 80 cumpleaños de Sir Karl Popper, Hacking quiso tratar de bajar ese Tercer Mundo a la Tierra. Dentro de su intento de arrumbar la tradicional hegemonía de la teoría sobre la práctica, la filosofía popperiana representaba una instancia estrella de la filosofía de la ciencia dominada por la teoría contra la que Hacking despotrica. Para Popper, si tras una catástrofe universal la Humanidad conservaba intactas las bibliotecas, aunque perdiera todas las

máquinas, los hombres se sobrepondrían porque averiguarían cómo fabricarlas una a una leyendo libros. Sin embargo, para Hacking, si la Humanidad estuviera condenada a una cultura meramente libresca, sin ningún conocimiento práctico sobre maquinaria, sobrevendría una Edad Oscura, puesto que los hombres lo pasarían muy mal para hacer que algo funcionara. Hacking dio la vuelta a la historia: si tras una catástrofe universal la Humanidad conserva las máquinas, aunque carezca de libros y manuales, los hombres tendrán mucho más fácil salir adelante. Teniendo máquinas en buen estado, las personas con el tipo de habilidad que hoy tienen los obreros y artesanos acabarían por averiguar qué hacen las máquinas y cómo lo hacen. «La lección es –como dice Hacking (1996, 303)–: hay que pensar en la práctica, no en la teoría».

La filosofía teoreticista de la ciencia anima a decir, con Popper, que todo nuestro saber se reduce a un mero conjeturar; pero ni mucho menos. Basta argumentar *ad hominem*: la explosión de una bomba atómica hace saltar por los aires cualquier clase de escepticismo (nunca mejor dicho). Pero incluso la vigente concepción de la ciencia de Bas van Fraassen (1996) está completamente dominada por la teoría, quedando la práctica y el experimento en un discreto segundo plano, condenados a únicamente decidir si una teoría ya articulada es o no es adecuada empíricamente. No obstante, para Bueno y Hacking, la ciencia no es sólo un cuerpo de conocimiento, de proposiciones que buscan describir o representar el mundo; porque el científico no sólo compone teorías sino que también cambia e interviene la realidad con los instrumentos y artilugios que construye. En *The Mangle of Practice*, el sociólogo Andrew Pickering (1995, 5-6) introduce la distinción entre el idioma representacional y el idioma performativo a la hora de pensar la ciencia:

> El idioma representacional concibe la ciencia, sobre todo, como una actividad que busca representar la naturaleza, producir conocimiento que mapeé, refleje o se corresponda con cómo el mundo es realmente. [...] Sin embargo, dentro de una concepción expandida de la cultura científica –una que vaya más allá de la ciencia como conocimiento para incluir la dimensión material, social y temporal de la ciencia– se hace posible imaginar que la ciencia no es sólo representación. […] Uno puede comenzar con la idea de que el mundo no está compuesto, en primera instancia, de hechos y observaciones, sino de «agencia». El mundo, quiero decir, está continuamente *haciendo cosas*.

La filosofía de la ciencia tradicional ha sido incapaz de superar la barrera del idioma representacional; y, por su parte, la sociología del conocimiento científico ha sido, a lo sumo, semi-performativa (Pickering: 1995, 10). Sin embargo, Pickering subraya que es necesario cambiar de marco para entender cabalmente la práctica científica: el idioma performativo predomina en la ciencia. Este idioma nos aleja de concebir la ciencia desde la pura obsesión teorética, reconociendo sus poderes materiales. La ciencia no es gente que habla con gente de otra gente. Los científicos son sujetos operatorios (performativos), que entre otras cosas diseñan máquinas para manipular la realidad. Al laboratorio, que es el lugar en donde se produce ciencia, se llega pasando por el taller, y no sólo por la academia.[16]

Se trata de anteponer lo práctico a lo teórico a la hora de concebir al científico. La razón práctica es la razón originaria, y la razón especulativa es su resultante. «El *homo sapiens* es indisociable del *homo faber*» (Bueno: 1992, 111). Son, por así decir, las manos –las operaciones quirúrgicas o manuales– las que construyen racionalmente el mundo. La racionalidad científica tiene tanto que ver con el cuerpo como con la mente. Cabe aseverar que en el límite no reside en el cerebro de los científicos ni en su conducta, sino en la propia ciencia en cuanto institución encarnada en la realidad. No es algo sobreañadido al dominio de la ciencia, sino la misma composición operatoria de los materiales de la ciencia por los sujetos corpóreos llamados científicos.

Conceptos, signos y cosas se vinculan entre sí en la ciencia como los factores de un monomio, de tal modo que si alguno de ellos fuera anulado, ello supondría la anulación del conjunto, es decir, de la ciencia. En particular, por tanto, cualquier ciencia ha de incluir necesariamente un estrato fisicalista, ya que siempre comporta una cultura material. Nos encontramos, pues, con la necesidad de desarrollar –como mantiene Norton Wise (2006, 81)– una «epistemología materializada» que reúna el conocimiento teórico (conceptos) con el práctico (signos, cosas). Las teorías suelen ser presentadas mediante dibujos, diagramas, lenguajes formales y naturales, y siempre se materializan

16 La palabra *laboratorio* aparece en 1605 en inglés, en 1620 en francés y poco después pasa al español, apareciendo ya con pleno uso en la obra del Padre Feijoo, con el significado de lugar equipado con aparatos e inventos para la manipulación.

como inscripciones en el papel o la pantalla. Recíprocamente, los objetos siempre guardan relación con interpretaciones, significados y conocimientos. Esto es válido incluso para cosas que habitualmente son consideradas como simples herramientas, como los instrumentos y los aparatos de laboratorio, a los que Galison (1997) denomina «máquinas epistémicas». Se trata, en cualquier caso, de superar el «proposicionalismo» que ha imperado en la filosofía de la física. Las proposiciones tienen, naturalmente, su importancia. Hay números, gráficas, artículos, impresos de ordenador. Pero el ámbito experimental desborda este marco, a pesar de que durante años para la inmensa mayoría de filósofos este ámbito ha sido –por decirlo cáusticamente con Feyerabend– tan pertinente para la ciencia como la máquina de escribir lo es para el poeta: otro medio para producir proposiciones.

3. Tirando de este hilo común, vamos a exponer y explicar los presupuestos filosóficos que unen a Gustavo Bueno e Ian Hacking en materia de teoría de la ciencia. Comencemos respondiendo a la siguiente pregunta: ¿qué es la ciencia?

La ciencia es, según Bueno, construcción.[17] Ahora bien, construcción... ¿de qué, con qué y por quién o quiénes? La respuesta de la teoría del cierre categorial es que las ciencias son construcciones de realidades, con las cosas mismas, materializadas mediante las operaciones de los científicos empleando múltiples aparatos e instrumentos que buscan manipular o intervenir esas realidades antes que interpretarlas o representarlas. Este constructivismo es de signo materialista, porque no se limita al terreno de las construcciones conceptuales y defiende que las operaciones científicas son quirúrgicas (manuales) antes que meramente mentales. Esto permite explicar por qué las ciencias precisan de referenciales: «las ciencias –arguye Bueno (1995, 50)– son construcciones operatorias y las operaciones sólo son posibles con objetos corpóreos». Pero la teoría del cierre categorial afirma mucho más: son los objetos materiales aquellos que constituyen el cuerpo de cada ciencia: «son los electrones, los protones y los neutrones (y no sus símbolos, o sus funciones de onda) –en tanto, es

17 La función de construcción posibilita recuperar las funciones clásicas de predicción/retrodicción (= construir relaciones temporales entre diversos contenidos) y explicación (= construir relaciones estructurales que incorporen un dato al sistema de datos en que está flotando) asociadas a la ciencia.

cierto, están controlados por los físicos en aparatos diversos (tubos de vacío, ciclotrones, &c.)– los que forman parte de la física nuclear» (1995, 41).

El punto de arranque del *realismo experimental* de Hacking coincide con el del *realismo materialista* de Bueno. Ambos insisten en la práctica frente a la teoría, en la intervención o construcción frente a la representación. Para Hacking (2009, 109), la mayoría de filósofos de la física subordinan el experimento a la teoría: el experimentador no puede comenzar a trabajar hasta que el teórico no ha hecho su trabajo, esto es, le facilita una teoría que contrastar. Pero Hacking asevera: «sostengo que comúnmente los científicos *crean* los fenómenos que posteriormente se convierten en las piezas centrales de la teoría» (1996, 249). De hecho, Hacking cuenta que se convirtió al realismo científico cuando un físico de la Universidad de Stanford le describió cierto experimento encaminado a detectar la existencia de cargas eléctricas de valor igual a una fracción de la carga del electrón (quarks): se tomaron dos bolas diminutas de niobio cargadas eléctricamente y se trató de observar cómo variaba la carga de esas bolas cuando interaccionaban levemente entre sí (si se medía algún trasvase de carga entre ambas con valor fraccionario, el experimento resultaría satisfactorio). Entonces, preguntó cómo se las habían arreglado en el laboratorio para hacer que las bolitas de niobio tuviesen cargas distintas a fin de que interactuasen, y el físico contestó que las rociaban con positrones para aumentar la carga o con electrones para disminuirla. Y esta respuesta fue toda una revelación para Hacking (1996, 41): «Hasta donde a mí concierne, si se puede rociar algo con ellos, entonces son reales». Hacking concibe la física como edificada sobre la manipulación de positrones, electrones y demás partículas. Toda su obra realza este valor intrínseco de la práctica experimental, independiente de la especulación teórica. El lema por excelencia de su nuevo experimentalismo es que «los experimentos tienen vida propia», es decir, éstos no suelen ser programados para verificar o falsar teorías sino para adquirir auténtico conocimiento y dominio fenoménico de la realidad. Galison (1987) ha llegado a adoptar esta máxima aún más sugerente: «los instrumentos tienen vida propia». Como escribió Gaston Bachelard en *Les intuitions atomistiques*: «un instrumento en la ciencia moderna es realmente un teorema».

4. El audaz paso adelante que ambos filósofos dan, poniendo de relieve la experimentación, se funda en el caso de Bueno (1995, 42) en que sólo así la filosofía de la ciencia «podrá liberarse de la concepción de la ciencia como re-presentación especulativa de la realidad y de la concepción de la verdad, en el mejor caso, como adecuación, isomórfica o no isomórfica, de la ciencia a la realidad». A juicio de Bueno (1992, 1293), resulta imprescindible dar otra vuelta de tuerca al debate realismo-antirrealismo: «Para retirar la idea adecuacionista de la ciencia manteniendo una visión realista (pero materialista) de la misma, es preciso algo más que una crítica localizada (a la ciencia astronómica, a la física cuántica...); es preciso regresar más atrás de la idea misma de conocimiento y alcanzar una visión no representacionista (adecuacionista) del conocimiento científico». Por su parte, de modo análogo, Hacking (1996, 50) sostiene que la disputa entre realistas e instrumentalistas queda inconclusa en el nivel de la representación: «Cuando pasamos de la representación a la intervención, a rociar bolas de niobio con positrones, el antirrealismo tiene menos fuerza». «La física experimental –apunta Hacking (1983b, 71)– aporta el argumento más fuerte a favor del realismo científico». Y es que, para este autor (1996, 49), gran parte del debate contemporáneo acerca del realismo científico está infectado de una metafísica intratable, a causa del uso indiscriminado de términos tales como *teoría* o *representación*. Según Hacking (1996, 303), si sólo contemplamos la ciencia como representación del mundo, jamás escaparemos de las representaciones: «Cada prueba de una representación no es más que otra representación». Y lo que es más grave: nunca lograremos conectarnos con el mundo; pues, después de todo, la realidad tiene que ver con nuestras habilidades para modificarla, para intervenir en ella: «La prueba *directa* de los electrones y similares es nuestra habilidad para manipularlos utilizando propiedades causales» (1996, 303). Equivalentemente, empleando términos de Nancy Cartwright (1983, 91 y 99): «la explicación de un efecto mediante una causa tiene un componente existencial, que no es un ingrediente extra opcional [...] si no hay electrones en la cámara de niebla, no sabemos por qué aparecen trayectorias en ella». Y Hacking (1996, 16) concluye: «No es pensar acerca del mundo, sino cambiarlo, lo que al final tiene que hacernos realistas científicos». A fin de cuentas, no hay antirrealistas dentro de un laboratorio.

5. Tanto el materialismo de Bueno como el experimentalismo de Hacking coinciden, siendo como son circularistas, en subrayar la intrincación dialéctica entre teoría y práctica que se da dentro de la actividad científica, aunque el modo de describir los mecanismos de funcionamiento de la ciencia resulta por completo diferente (y esto, como ampliaremos, nos inclinará por la teoría del cierre en vez de por el nuevo experimentalismo, cuyas limitaciones sacaremos a la luz). Bueno (1992) describe cómo transcurre la empresa científica mediante el proceso que denomina *cierre categorial*. *Cierre categorial* designa, como hemos constatado en el caso de las matemáticas, al conjunto de operaciones con objetos y proposiciones que conducen a la construcción de una cadena de teoremas científicos, y que vienen –por así decir– a *cerrar* las acciones realizadas por los propios científicos dentro de la *categoría* de estudio. Cuando las operaciones de los científicos determinan un campo de términos, objetos, instrumentos, aparatos y relaciones diferenciado del resto de campos científicos, se produce el cierre de una nueva categoría y, con ello, la cristalización de una nueva ciencia. Desde la óptica de Hacking, el hacer científico se canaliza a través de la tríada especulación-cálculo-experimentación y posee dos funciones: la representación y la intervención. De la primera, se ocupa la teoría. De la segunda, el experimento. Pero ambas aparecen imbricadas circularmente: «representamos para intervenir, e intervenimos a la luz de representaciones» (1996, 49).

Pero hay más: Hacking (2009, cap. IV) mantiene que los diversos estilos de razonamiento científico[18] se autovindican, en el sentido de que existe una circularidad entre sus componentes, entre materia y forma, que diríamos nosotros. Hacking (2009, 21 y 47) defiende que la cristalización –un término del que también gusta Bueno– de cada estilo es un proceso esencialmente interno, que conlleva sus propios criterios de evidencia, prueba y demostración. Cada estilo de razonamiento científico, por seguir la nomenclatura de Hacking, acota y

18 Hacking (2002, caps. 11 y 12) recoge algunas de sus primeras contribuciones sobre los estilos de razonamiento, una idea que toma de A.C. Crombie pero que no restringe al campo del pensar sino que amplía al del hacer; porque razonar no se reduce a un arte sedentario, tiene que ver con la mente y la palabra pero también con el ojo atento y la mano que manipula. Para Hacking no hay un único estilo de razonamiento científico, como no hay un método científico, sino muchos: el matemático, el hipotético-deductivo, el experimental, el taxonómico, el estadístico y el histórico-genético.

define dentro de su dominio sus métodos soberanos de pensar y hacer, así como introduce nuevos objetos: forma y materia van inextricablemente unidas. Las ciencias de laboratorio, por ejemplo, se estabilizan porque las teorías, los aparatos y los datos se ajustan mutuamente (el «círculo vicioso» del experimentador). Pero esta circularidad no es un vicio sino la principal virtud de la ciencia, pues gracias a ella la ciencia en cuestión cierra, se sostiene a sí misma: el modelo es correcto porque explica cómo fue el experimento, y el experimento fue bueno porque encaja con el modelo. Y Hacking (1992, 56) añade: «La ciencia de laboratorio estable surge cuando las teorías y el equipo de laboratorio evolucionan de tal modo que se acoplan unas con otros y resultan mutuamente autojustificativos». (Es lo que Pickering (1995) denomina el modelamiento de la práctica en la agencia material de los científicos.) Cuando algo no encaja, los experimentadores no sólo revisan sus creencias teóricas (como pensaba Duhem), sino que también hacen lo propio con el material bajo estudio, los instrumentos y los datos fenomenológicos. El resultado es una simbiosis productiva entre todos estos recursos plásticos, que se codeterminan unos a otros hasta volver a encajar, produciendo la autovindicación o cierre de la ciencia en cuestión. Paradójicamente, para Hacking (1988b, 151), esta plasticidad es el pegamento de la ciencia, lo que la hace estable: al final, aunque el mundo no determina de una vez por todas qué combinación es la correcta, sólo unas pocas combinaciones sobreviven. No se trata de una teoría de la verdad como coherencia, advierte Hacking (1992, 58), sino de una teoría de la coherencia entre el pensamiento, la acción, las marcas y los materiales. En resumidas cuentas, Bueno y Hacking buscan volver a poner la ciencia sobre sus pies técnicos, evitando las concepciones de la ciencia extremadamente teoréticas. Frente a la tendencia endémica de la filosofía contemporánea a reemplazar todo por entidades lingüísticas, experimentar no es enunciar o informar sino hacer, y hacer con algo distinto de palabras.

En lo tocante a la cuestión de la verdad en ciencia, asumir el idioma performativo permite ir más allá, abordar desde nuevas claves este problema tradicional:

> Quiero señalar, primero, que el análisis de la práctica científica y el cambio del idioma representacional por el performativo puede servir para desplazar la problemática tradicional, para transformarla en algo bastante diferente

> –más interesante, pienso, y menos intratable–. En el idioma performativo, uno no está obligado a discutir la relación entre conocimiento y mundo en términos de correspondencia. En su lugar, uno puede preguntar cómo, en la práctica, *las conexiones entre el conocimiento y el mundo se construyen y en qué consisten* (Pickering: 1995, 182).

Como explicaremos en la próxima sección, el propio Pickering intenta resolver la cuestión mediante la propuesta de un *realismo pragmático* o *performativo*, que reclama una visión constructivista de la práctica científica que afecta tanto a las teorías y los modelos matemáticos como a los instrumentos, los aparatos, las máquinas e, incluso, los propios científicos. Pickering busca, de este modo, superar la tradicional dicotomía entre pensar y hacer, entre lo ideal y lo material, especificando conexiones no triviales entre el conocimiento y el mundo, que son bastante diferentes de la relación de correspondencia y consisten en la estabilización interactiva de máquinas y conceptos, entre el mundo material y el mundo de la representación (1995, 17 y 182-183).

Por su parte, Bueno (1982, 125) sostiene que «las verdades científicas son los eslabones o nudos que atan a los hilos en su tejido: sin las verdades, la trama de la ciencia se aflojaría hasta terminar por deshacerse». Las ciencias son antes que nada instituciones sociales cuya función es construir esa clase de composiciones que llamamos verdades. Su teoría materialista de la verdad como identidad sintética, de la que ya hemos hablado, está pensada contra la metafísica teoría de la verdad como adecuación (correspondencia, isomorfismo, similitud, analogía...). Si Lenin escribió que la praxis demuestra la verdad de la física, Bueno va a radicalizar este aserto y sostener –en un sentido cercano bajo cierto prisma a la teoría de la verdad del pragmatismo[19]– que la praxis es la verdad de la física: *verum est factum*. Para decirlo radicalmente, la verdad de la ecuación de Einstein $E=mc^2$ descansaría

19 No se olvide que el término *pragmatismo* deriva de la palabra griega *pragma*, que quiere decir *acción*, y que tanto Peirce como James acentuaron la conexión entre práctica y verdad, concibiendo ésta como un proceso, como el proceso de su veri-*ficación* o valid-*ación*. Las Leyes de Newton, según la concepción de la verdad del pragmatismo, no eran verdad antes de que fuesen formuladas, como tampoco eran falsas, sino que su verdad aconteció cuando fueron corroboradas. Bueno comparte con los pragmatistas este énfasis en la verdad a escala del hombre, pero se diferencia de ellos en que evita ciertos derroteros subjetivos: la verdad pragmatista se predica de ideas y creencias, pero –desde la perspectiva materialista– la verdad queda *encarnada* como relación entre cosas.

en las explosiones atómicas llevadas a cabo por los físicos en atolones del Pacífico. «La ciencia moderna –afirma Bueno (1992, 39)– nos enseña qué significa poseer la verdad de la conexión entre cosas (*verum est factum*) y qué significa no poseerla, andar a ciegas o por tanteo (en el momento de curarnos de una enfermedad, explotar una bomba atómica o dirigir una astronave a Marte)». La concreción del trabajo científico no es, originariamente, escribir libros o artículos. Los productos lingüísticos son sólo un aspecto de la ciencia y si nos atenemos únicamente a él, seremos víctimas del fetichismo de la mercancía. Del mismo modo que la música no reside en los pentagramas, puesto que tiene que sonar, las verdades científicas no pueden reducirse, en la línea del teoreticismo, a las proposiciones y las ecuaciones. «La física no se reduce al *Handbuch der Physik*: comporta, esencialmente, manipulaciones con objetos físicos, movimientos del cuerpo, fabricación de aparatos» (Bueno: 1970, 208). Las ciencias –arguye Bueno (1992, 182)– son, pues, más que teorías: comportan arsenales de términos e instrumentos. La ciencia no está, en origen, en las bibliotecas sino en los laboratorios, como la física no está en las fórmulas sino en los aparatos. Se trata de desplazar la atención de las cristalizaciones simbólicas hacia el campo operatorio de cada ciencia.

En consecuencia, la Ley de Acción de Fuerzas de la física clásica no será vista como una Ley de la Naturaleza (fija, eterna e inmutable), sino como el modo físico-clásico de manejarse (verbigracia, predictivamente) con ciertos objetos (planos inclinados, péndulos, resortes...) cuando les imponemos funcionar bajo ciertas construcciones controladas (por ejemplo, manualmente) por nosotros (dejamos deslizarse una bola de plomo por el plano inclinado, soltamos el péndulo desde diferentes posiciones iniciales, variamos la pesa que mueve el resorte...). Y es que, para Bueno (1982, 169), «la realidad que se nos da a través de las leyes físicas es una realidad que está desde luego a escala de las manipulaciones de los físicos», porque las llamadas Leyes de la Física no son leyes que la Naturaleza guarda ocultas y se revelan a la mente del físico, sino relaciones *entre cosas –relaciones objetivas–* que los físicos determinan manejando diversos artefactos (Bueno: 1992, 548 y ss.).

Las ciencias segregan verdades; pero estas verdades, lejos de describir o representar el mundo, construyen el mundo, lo hacen. Las

ciencias no cambian nuestra imagen del mundo, cambian el propio mundo. La estrella polar del realismo materialista es concebir las ciencias como construcciones «con las cosas mismas». Lógicamente, esta tesis resultará extraña a quien considere los aparatos como algo externo a las ciencias, pero «¿acaso la física no cuenta como contenidos internos suyos a las balanzas de Cavendish, a los planos inclinados, a las cámaras de Wilson o a los pirómetros ópticos?» (1995, 42). Es más, «las fórmulas mismas para que tengan sentido, para que mediante ellas puedan planearse experimentos, suponen los aparatos» (1982, 373).[20] Las Leyes de la Física no son las Leyes de la Naturaleza, sino las leyes del laboratorio que envuelve a los físicos y, por extensión, del mundo que envuelve al resto de sujetos operatorios (1992, 1204). Son leyes *objetivas* pero, simultáneamente, *relativas* a los aparatos y las operaciones del físico. Aún más: estas leyes o regularidades no están depositadas en el cielo o en el pensamiento, sino en las construcciones materiales (dispositivos experimentales). En una palabra: en los aparatos. Los aparatos son los «contextos determinantes» de la física, es decir, las armaduras materiales que posibilitan las construcciones científicas y a través de las cuales las teorías se convierten en mecánica o en física, se hacen realidad. Este audaz paso adelante que Bueno da, poniendo de relieve los aparatos, se funda en que «el lugar de la verdad científica es la armadura o contexto determinante en que se constituye» (1992, 182). Por ejemplo: el oxígeno debe ser reconocido como una verdad desde la perspectiva de la *campana de Lavoisier*, que –junto al aire que contenía, el óxido rojo de mercurio y las operaciones tecnológicas de los científicos que pusieron a punto el dispositivo– constituyó la armadura del experimento de 1776 y que, a día de hoy, sigue siendo válido aunque pueda ser sofisticado de cara a mejorar su eficiencia. Esta idea también está curiosamente en Hacking (1992, 30), para quien «las teorías de las ciencias de laboratorio no son directamente

20 Hago notar que la solución gnoseológica de Bueno no pasa –como podría presuponerse alarmantemente– por reemplazar las fórmulas por los aparatos y marginar el plano de las teorías en un giro completo (el péndulo yendo al otro lado), sino en comprender el significado de las teorías a través de las prácticas: «las fórmulas *presuponen* los aparatos». Pasamos, pues, del estilo representacional al performativo. Si esta diferencia no se capta, no resulta posible entender lo que implica la teoría materialista de la verdad científica como identidad sintética, que desborda el marco lingüístico (el protocolo carnapiano o la observación de una mente pura), para comprender las verdades que construyen las ciencias más bien como *ejercicios* que como *representaciones* (la verdad estaría en el experimento).

comparables al "mundo"; las teorías persisten porque son *verdad con respecto a fenómenos producidos o hasta creados mediante aparatos en el laboratorio*, y que además son medidos mediante instrumentos que nosotros hemos construido» (cursivas mías).

Aunque Hacking diga desentenderse del problema de la verdad en ciencia, también aparece latente en su obra este sentido de la verdad de signo materialista[21]: «El árbitro final en filosofía no es lo que pensamos, sino lo que hacemos» (1996, 50). En efecto, su llamada de atención sobre el decisivo *realismo de entidades* frente al *realismo de teorías* tiene mucho que ver con la reformulación materialista de la verdad. No en vano, para Hacking (1996, 173) «la realidad tiene que ver con la causalidad, y nuestras nociones de la realidad se forman a través de nuestras habilidades para cambiar el mundo». Un buen número de pasajes de la obra de Hacking refleja esta concepción materialista de la verdad científica; en cierto modo, podría decirse que para Hacking la *verdad* del electrón reside en su exitoso manejo: «Cuando se logra usar el electrón para manipular otras partes de la naturaleza de una manera sistemática, el electrón ha dejado de ser un ente hipotético o inferido [...] Ha dejado de ser teórico y se torna experimental» (1996, 291). Es decir, mediante el trabajo experimental, el electrón deja de ser una hipótesis para transformarse en una herramienta manipulable a fin de producir nuevos fenómenos, esto es, se convierte en un instrumento para hacer y no para pensar; por tanto, en un instrumento real, *verdadero*.

Bueno y Hacking rebaten la idea de que el mundo conocido sólo sea una proyección de nuestras mejores teorías científicas. La práctica experimental nunca es redundante, porque es real. Por ejemplo, como observa Hacking, desde el descubrimiento del efecto fotoeléctrico se han sucedido múltiples y a menudo contradictorias explicaciones, como la einsteiniana del fotón, pero, pase lo que pase con esta última, que es la que hoy aceptamos, «las puertas de los supermercados (que dependen del efecto fotoeléctrico para su funcionamiento) continuarán funcionando» (1984, 118-119). Es más, la aplicación de este efecto hace posible, aparte de las células fotoeléctricas, la reproducción de sonido en el cine (sin él, seguiríamos anclados en el

21 No se pierda de vista lo que Hacking (1996, 83) reconoce: «Mi propia opinión, a saber, que el realismo es un asunto de intervenir en el mundo, más que de representarlo en palabras y pensamiento, ciertamente le debe mucho a Dewey».

cine mudo). Análogamente, afirmamos la existencia de los electrones –entidades sobre las que disponemos de diversas teorías conceptual y empíricamente incompletas– porque gracias a ellos podemos causar diversos procesos bien estudiados. Y sin la investigación de los haces de electrones en esos aceleradores de bajas energías que son los tubos de rayos catódicos, no habría televisores ni monitores de ordenador. El quid de la cuestión es, como observa Bueno, argumentar *ad hominem*: escribiendo contra el realismo científico y relativizando las verdades científicas, nadie ha conseguido que se venga abajo la red eléctrica que ilumina su mesa de trabajo y a la que está conectada su ordenador. El poder de la ciencia es tangible y, por decirlo telegráficamente, la capacidad para transformar los micro, meso y macrocosmos determina la fuerza de las verdades que construyen las ciencias.

6. Con respecto al tema del cambio científico, Hacking se muestra como un *realista progresivo* en relación a la práctica (con el paso del tiempo se acumulan hechos científicos) a la vez que como un *antirrealista progresivo* con respecto a la teoría (con el paso del tiempo no necesariamente se da un crecimiento teorético). Para Bueno, la expresión *progreso científico global* carece de sentido al postular un punto de llegada definitivo, manteniendo en cambio la existencia de un *progreso científico relativo*, en cuanto mejora del dominio de una cierta zona de realidad o del rendimiento de los aparatos científicos (1982, 170). Ambos coinciden a la hora de defender que el conocimiento práctico continúa acumulándose históricamente, incluso si se producen cambios notables en la esfera teórica. Las prácticas son, en general, más robustas y menos plásticas que las teorías. Según argumenta Hacking (1992), los objetos, los aparatos y los datos de laboratorio muestran una mayor persistencia y estabilidad que los conceptos teóricos. Un telescopio no puede cambiar *per se*, a pesar de que con posterioridad las apariencias observadas se interpreten de otro modo. La doctrina kuhniana de la inconmensurabilidad puede debilitarse notablemente si nos fijamos en la práctica más que en las teorías, como hace Kitcher (1993, 139), pues concordaremos en que los microscopios, los telescopios o los espectrómetros han dado forma a un cuerpo de afirmaciones bastante estable. No obstante, es cierto que a veces los supuestos y los artefactos centrales de una ciencia cambian, pero lo hacen de un modo evolutivo y gradual. Ni fijismo ni catastrofismo. La continuidad, aun

con vueltas del revés, es la tónica. Las revoluciones científicas afectan más a la corteza que al núcleo de las ciencias, son más metodológicas que básicas (como ampliaremos más adelante en el caso de la física). La filosofía de la ciencia del siglo XX ha enfatizado demasiado la discontinuidad en la dinámica de la ciencia al fijarse de forma miope sólo en su cara teórica.

En relación con este tema hay que subrayar que la tesis de la carga teórica de la observación ha sobreestimado la plasticidad de esta última. Ciertamente, la percepción del mundo depende de nuestras teorías, pero de aquí no se deduce que la naturaleza misma dependa de nuestras teorías ni que dos teorías rivales no puedan compararse confrontando cuál es más potente, cuál es mejor. El mundo presenta ciertas líneas de fuerza más o menos estables que impiden que nuestros conceptos lo recorten arbitrariamente. No todas las clasificaciones son válidas. El mundo patentiza cierta estructura intrínseca compatible con múltiples –potencialmente infinitas– clasificaciones, pero no con todas (Eco: 1999, 63). Aunque la frontera no es precisa, el científico no crea el hecho científico *ex nihilo*, lo hace a partir de un hecho bruto y, por tanto, no puede hacerlo libremente. A la manera que por hábil que sea el obrero, su libertad está siempre limitada por las propiedades de la materia prima sobre la cual opera.

Además, considerar que todas las observaciones están cargadas de teoría es ya una observación cargada de teoría, de la teoría formulada por Hanson. Por otra parte, siguiendo la tesis holista de Duhem-Quine, hay que aceptar –renunciando a ese dogma del empirismo– que las proposiciones científicas no pueden verificarse ni falsarse de una en una. La ciencia no es un cuento de hadas, y cuando se realiza un test experimental se están sometiendo a prueba conjuntamente un montón de hipótesis. De modo que un fallo no indica claramente si éste está en la teoría central o en las hipótesis auxiliares. Ahora bien, en la práctica los científicos no realizan una sino una batería de pruebas para testar independientemente cada parte (teoría central, hipótesis auxiliares, funcionamiento de los aparatos). Así, por ejemplo, la teoría óptica que afecta a los telescopios en mecánica celeste es testada independientemente en tierra, mediante experimentos con lentes, espejos y luz. La observación puede estar cargada de teoría, pero no necesariamente de la teoría que se desea poner a prueba.

Las teorías de la ciencia de Bueno y Hacking permiten, igualmente, contrarrestar la inducción pesimista. Una historia de la ciencia de grano fino muestra, como apunta Kitcher (1993, 149), que las entidades teóricas con las que se trabaja (átomos, moléculas, genes), las que se manipulan o de las que se miden diversas magnitudes, tienden a ver reforzada su existencia. Sin embargo, haríamos bien en guardar un sano escepticismo, como hace Laudan, para aquellas otras que son meramente presupuestas, postuladas, como el éter. Estas entidades teóricas inexistentes no eran elementos esenciales en el éxito de las teorías de que formaban parte (así, el éter no era más que un recurso heurístico sin función alguna dentro de la teoría electromagnética de Maxwell, y por eso precisamente esta teoría pudo reconstruirse dentro de la teoría de la relatividad de Einstein). No es una cuestión de todo o nada. Hay que ser prudentes. Ni todas las entidades tienen referentes reales, ni todas son meros instrumentos para el cálculo. Según argumenta Rivadulla (2015, 165), resulta difícil cuestionar la existencia de los electrones, después de que la física haya determinado su carga, su masa, su espín, &c., y sobre todo después de que los físicos –añadiríamos nosotros– los empleen diariamente para interferir con otras partes de la naturaleza. Sin embargo, hay diferencias ontológicas entre electrones y quarks (como las hay entre ondas de radio y ondas gravitacionales). De los segundos, a diferencia de los primeros, sólo tenemos conocimiento inferido dado que no se presentan aislada o independientemente, pues están confinados en el interior de protones y neutrones (análogamente, mientras que podemos producir y manipular ondas de radio a nuestro antojo, las ondas gravitacionales sólo son de momento «observables»).

No obstante, el argumento de la incompatibilidad interteórica se nos aparece como la crítica más brutal que puede hacerse al realismo científico de corte adecuacionista. (Un argumento que a su vez depende del argumento de la infradeterminación empírica, que no es sino el salto entre los enunciados observacionales particulares y los enunciados teóricos generales: de igual manera que hay múltiples curvas que pasan por tres puntos, puede haber más de una teoría compatible con la evidencia empírica disponible.) Concordamos, pues, con Rivadulla (2015, 177) cuando mantiene que este argumento es el azote del realismo convergente. En efecto, histórica y regularmente concurren

teorías y/o modelos teóricos incompatibles entre sí acerca del mismo dominio empírico. Al contrario que la tesis de la inconmensurabilidad, que remite a una situación entre teorías separadas por una revolución científica (la mecánica de Newton y la teoría de la relatividad de Einstein), la tesis de la incompatibilidad se presenta en teorías o modelos que compiten simultánea y paralelamente. Los ejemplos que sugieren abandonar la visión de la ciencia como una representación fidedigna del mundo abundan. Así, en el dominio de la física cuántica, la mecánica matricial de Heisenberg y la mecánica ondulatoria de Schrödinger eran, como ya mencionamos, matemática y empíricamente equivalentes, pero ontológicamente incompatibles. No eran dos reformulaciones lingüísticas de una misma teoría, pues cada una comportaba una ontología distinta (Madrid Casado: 2008b y 2009c). Al igual que Bueno, Hacking (1988b, 153) cree en la desunión de la ciencia, pese a las tentativas de unificación; pero subraya que –aparte de las matemáticas y la estadística– hay otro elemento que dota de cierta consistencia al conjunto de ciencias: los instrumentos de medida (el sistema internacional de unidades) y ciertos aparatos (así, los espectrómetros que a finales del siglo XIX se encontraban en la frontera de la física experimental, hoy día son ampliamente utilizados en bioquímica).

7. Una de las grandes ventajas del acercamiento circularista a la ciencia reside en que aporta nuevas armas al realismo científico. Resulta interesante comprobar cómo Ian Hacking y Gustavo Bueno comparan su crítica al antirrealismo científico con la crítica socialista. En efecto, Hacking se compara con Marx. Y Bueno, a su vez, con Engels. Así se expresa Hacking (1996, 303): «mi ataque contra el antirrealismo científico es análogo al ataque de Marx contra el idealismo de su tiempo»; y deja flotando la referencia a la Tesis II de Marx sobre Feuerbach: «El problema de si al pensamiento humano se le puede atribuir una verdad objetiva, no es un problema teórico, sino un problema *práctico*. Es en la práctica donde el hombre tiene que demostrar la verdad, es decir, la realidad y la fuerza, la terrenalidad de su pensamiento». Y Bueno (1995, 37) hace referencia a un parágrafo de Engels en *Del socialismo utópico al socialismo científico*: «Desde el momento en que podemos *producir* una cosa, no hay razón ninguna para considerarla incognoscible. Para la química de la primera mitad

de nuestro siglo, las sustancias orgánicas eran cosas misteriosas. Hoy, aprendemos ya a fabricarlas una tras otra, a base de los elementos químicos y sin ayuda de procesos orgánicos». Tanto Hacking y Bueno, como Marx y Engels, afirman que lo importante no es entender el mundo sino cambiarlo: la refutación más concluyente del antirrealismo es –como de toda extravagancia filosófica– la práctica, o sea, el experimento y la industria (por decirlo parafraseando un fragmento del panfleto *Ludwig Feuerbach y el fin de la filosofía clásica alemana*). A resultas de esto, la posición de Bueno y Hacking puede condensarse en el siguiente eslogan de resonancia marxista: «la mayoría de filósofos, sociólogos e historiadores de la ciencia se han limitado a pensar la ciencia como *descripción* o *representación*; pero de lo que se trata es de pensarla como *transformación* de la realidad».

12.2 Excursus por la antropología de laboratorio

1. Los estudios de laboratorio constituyen una valiosa fuente de argumentos que es preciso conocer para sustentar la concepción circularista de las ciencias, y ello a pesar de que la filosofía espontánea de los sociólogos del conocimiento científico se mueve en muchas ocasiones en torno a un teoreticismo radical que difícilmente casa con las teorías de la ciencia de Gustavo Bueno o Ian Hacking. Podríamos decir con este último que «la mayoría de los estudiosos sociales del conocimiento, con las posibles excepciones de Pickering y Latour, tienen problemas para encajar mis reflexiones en sus marcos» (2001, 167 n. p.). Queremos en este apartado echar un vistazo precisamente al trabajo de esos dos antropólogos de laboratorio, Bruno Latour y Andy Pickering, para constatar sus puntos fuertes y débiles en relación con el nuevo experimentalismo y la teoría del cierre categorial.

2. Mientras que tanto los partidarios del Programa Fuerte como los del Programa Empírico del Relativismo minimizan el papel de la naturaleza en la resolución de las controversias científicas, la teoría de la red de actores propuesta entre otros por Latour busca reintroducir la naturaleza como conjunto de actores no-humanos, lo que supone una inflexión en los estudios sociales criticada por Bloor o Collins (que consideran que el regreso de la naturaleza por la puerta

de atrás obstaculiza el poder crítico del sociólogo), pero aplaudida por Pickering (para el que la recuperación de la agencia material viene a cubrir una importante laguna del análisis sociológico). No hará falta recordar que, para Collins, «el mundo juega un pequeño o inexistente papel con respecto a la construcción del conocimiento científico» (citado en Woolgar: 1990, 82). A su juicio, en la ciencia en controversia las certezas surgen de resultados ambiguos que se imponen gracias al consentimiento de los científicos que gozan de más autoridad o credibilidad (un valor social que los sociólogos del conocimiento científico se oponen a correlacionar –como hacían los mertonianos– con la habilidad gnoseológica para no dar una imagen autorregulada de la ciencia). Pero afirmar que la conclusión negociada de las controversias entre científicos es la causa de lo que sea o no sea el mundo nos conduce de cabeza al idealismo absoluto (también, obviamente, si los sociólogos de la ciencia se especializan en analizar casos abiertos, es lógico que encuentren más contingencia e influencia social que si analizan casos cerrados, como hacía Merton). Latour ha denunciado este idealismo que se esconde tras los estudios sociales de la ciencia, a los que califica de callejón sin salida, porque obvian la co-participación o simetría que se da en la ciencia entre agentes humanos y no-humanos. Y defiende que para estar seguros de escapar al peligro de reducir la ciencia a la sociedad, al lenguaje o a la naturaleza (como antaño), hay que atreverse a comerciar sin ambigüedad con la ontología, a pesar del embargo promulgado contra ella tanto por la sociología del conocimiento como por la filosofía analítica (Latour: 1995, 95).

Bruno Latour, ese camaleónico, ingenioso, versátil, perspicaz y ecléctico sociólogo y filósofo francés, afirma taxativamente que su reconceptualización de la naturaleza no es un paso atrás, un retorno a un positivismo ingenuo. Frente a la acusación por parte de Bloor y Collins de no haber entendido y haber distorsionado la sociología del conocimiento, Latour ha procedido a un abandono efectivo del relativismo en pos de una especie de realismo constructivista que defiende que la agencia humana y no-humana participan conjuntamente en la construcción de las entidades científicas. Si su estudio de la ciencia ha logrado algo, ha sido sin duda añadir realidad a la ciencia, no quitársela. En vez de actuar como los antiguos filósofos de la ciencia del pasado, arrebujados en su poltrona junto a la galería de científicos

disecados colgados de las paredes, ha retratado a personas vivas, inmersas en sus laboratorios, apasionadas, cargadas de instrumentos, impregnadas de saber práctico y estrechamente vinculadas a un medio más amplio y más vibrante. Mientras que los filósofos de la ciencia al uso todo lo que ven cuando miran la ciencia son proposiciones, Latour ha visto laboratorios, observatorios, edificios, reuniones, incluso luchas entre científicos y políticos para acordar financiación. En lugar de la pálida y exangüe objetividad de la ciencia, ha mostrado que los actores no-humanos involucrados en la vida colectiva a través de las prácticas de laboratorio –como el fermento del ácido láctico de Pasteur– tienen historia, flexibilidad, sangre, en suma (Latour: 2001, 15).

El primer hito en esta escalada fue el libro *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos* (1979), escrito a dos manos con Steve Woolgar, quien aportó el bagaje teórico de fondo a un joven Latour que tras un trabajo de campo en Costa de Marfil se adentró, cual antropólogo en medio de una tribu de caníbales, en el seno del laboratorio del Instituto Salk para Estudios Biológicos, donde el equipo comandado por Roger Guillemin analizaba el factor liberador de la hormona tirotropina, un trabajo que le hizo merecedor del Nobel en 1977. Frente a los estudios de la ciencia realizados hasta la fecha, que tendían a ser abstractos y sólo recurrir a los manuales o las glorias consagradas, Latour observó con una mirada «externa» las acciones e interacciones de esa tribu científica. Sus notas de campo terminaron plasmándose en el libro, que es una suerte de informe que busca «recuperar parte del carácter artesanal de la actividad científica mediante observaciones *in situ* de la práctica científica» (Latour & Woolgar: 1995, 37).

Desde luego, este objetivo lo alcanzó: el laboratorio, el lugar de trabajo de los científicos, presenciaba un proceso de imposición de orden mediante una construcción agonística y material de los hechos, basada en eliminar el ruido de fondo aprovechando las circunstancias.[22] Pero

22 Otra meta parcialmente lograda fue repensar la ontología científica, un tema en el que abundaremos más adelante en relación con el hiperrealismo que hace suyo el materialismo filosófico. Latour & Woolgar (1995, 196 y ss.) recalcaban que la palabra *hecho* deriva del sustantivo *factum*, que a su vez proviene del participio pasado de *facere* (hacer o fabricar). A su juicio, los hechos científicos se construían socialmente: los enunciados se mueven en un continuo entre los hechos naturales y los artefactos, hasta que se estabilizan en uno de los dos polos como fruto de las negociaciones entre científicos, que siempre son contingentes, que

ello no debe disuadir de sacar a la luz el principal problema metodológico que oculta la antropología o la etnología de la ciencia. Atendiendo al prisma de Pike, Latour & Woolgar (1995, 47-48 y 54) buscaban moverse entre la perspectiva *etic* (la propia de la audiencia de colegas sociólogos) y la perspectiva *emic* (la de los científicos sometidos a estudio), esto es, «a medio camino entre los dos papeles extremos», entre los científicos sociales y los científicos naturales. Su miedo a convertirse en nativos, es decir, en biólogos moleculares, provocó que hipostasiaran el prisma de Pike, cometiendo un desliz imperdonable. No quisieron darse cuenta de que nosotros somos ellos, o de que ellos son nosotros. Mientras que un zande no puede convertirse en antropólogo (no hay antropólogos entre los azande), un biólogo molecular sí puede convertirse en sociólogo y, recíprocamente, un sociólogo como Latour puede convertirse en biólogo molecular (con educación y entrenamiento, claro). El antropólogo puede aprender a ser un científico de laboratorio. Otra cosa es que quiera, temiendo que con ello se pone en la situación del antropólogo cultural que se inclina ante el hechicero primitivo (Latour & Woolgar: 1995, 38).

Intentar comprender cómo funciona un cromatógrafo o un helicóptero sin recurrir a la química o la física, a armarse con todo el saber del siglo, es pecar de falsa conciencia, hacerse pasar por lo que no se es, fingir una mirada prístina e inocente que es imposible. Mismamente, la descripción etnográfica que Woolgar (1990, 130-131) hace de una pipeta no puede leerse sin esbozar una sonrisa irónica, pues parece una broma: una pipeta es un receptáculo para capturar lo que los científicos llaman «volumen» de una clase de substancia que llaman «líquido», porque «se cree que estos objetos de cristal llamados 'pipetas' retienen el 'volumen' capturado y hacen posible su traslado de una parte a otra del laboratorio». Ahora bien, ¿por qué no entrecomillar también 'cristal', 'retener', 'traslado' o 'laboratorio'? En el laboratorio, Latour no se comporta como el antropólogo que visita a la tribu nativa, sino más bien como el nativo indocumentado que visita a los

no están predeterminadas a seguir un camino marcado. Si un enunciado se convierte en un hecho, se pone entre paréntesis toda referencia al proceso de construcción, aceptándose que está expresando algo sobre un objeto preexistente que tiene vida propia. La realidad sería el conjunto de afirmaciones cuya revisión se estima demasiado costosa (1995, 198-199). Con los años Latour iría desembarazándose de la prisión lingüística de este su primer enfoque (nótese que la naturaleza se reducía de momento a enunciados o afirmaciones).

antropólogos, eso sí, vestido como ellos y usando su misma lengua, el inglés, la red eléctrica, &c. Guste o no, no cabe una etnología de la ciencia, como no cabe una etnología de Carlomagno o Pío V sino sólo de las sociedades bárbaras. Y es que, como apunta Gustavo Bueno, «la etnología no ofrece criterios de centrifugación: por ese motivo, existe siempre el peligro, si no se ejerce una discriminación filosófica, de que al arrojar el agua sucia del baño se arrastre también al niño» (una metáfora de la que gusta de usar Latour); porque «el etnoantropólogo puede decir muchas cosas ante un hombre manejando una azada, pero sólo puede decir trivialidades ante un hombre que maneja una computadora» (Bueno: 1971, 145 y 203). «El ámbito o interior de una cultura determinada [como la cultura científica] sólo puede comprenderse desde las categorías de otra cultura más compleja» (Bueno: 1990, 45).

El precio a pagar por este enfoque es que los autores sólo lograron encontrar su hilo de Ariadna en lo que llamaron la «inscripción gráfica» (Latour & Woolgar: 1995, 55). Este concepto, que remite a la escritura pero también a trazos, manchas, nubes de puntos o histogramas, es el que vertebra toda su investigación. Y no es de extrañar, puesto que, al no saber dónde dar el corte entre antropólogo y biólogo, resulta que los textos son lo único que ambos tienen en común. Son lo único que Latour, tras ponerse las orejeras, puede descifrar; porque tanto él como los científicos bajo estudio inscriben gráficamente. Pese a que valora la práctica manual y artesanal de los científicos, termina agarrándose en su informe de observación a los textos (al fin y al cabo lo único que comprende). Al situarse en el punto de vista de un observador que ve lo que ocurre en el laboratorio sin compartir las creencias de los investigadores, el sociólogo describe lo que le parece más inteligible dentro del laboratorio: los textos, las conversaciones y los rituales. La «obsesión textista» del primer Latour hacía acto de presencia al volcarse éste en el seguimiento de las conductas lectoescritoras y no de otras conductas operatorias (ya que, por ejemplo, sabía leer y escribir pero no manejar un cromatógrafo):

> El programa de observación participante durante 21 meses produjo un enorme cuerpo de datos… Además de las notas de campo […] se efectuó un análisis intensivo de toda la bibliografía producida por miembros del laboratorio. Al mismo tiempo, se acumuló una diversidad de documentos relevantes para

> las actividades cotidianas del laboratorio: borradores de artículos en preparación, cartas entre los participantes, memoranda y diversas hojas de datos proporcionadas por los participantes (Latour & Woolgar: 1995, 49).

De acuerdo con esto, Latour & Woolgar (1995, 63) concluían que el laboratorio tenía la apariencia de un gigantesco sistema de inscripción gráfica y se preguntaban: «¿Cómo se combinan los costosos aparatos, animales, sustancias químicas y actividades de las mesas de laboratorio de modo que se produzca un documento escrito y por qué los participantes valoran tanto estos documentos? [...] ¿Cómo podemos explicar el hecho de que en un año se gaste un millón y medio de dólares para que 25 personas produzcan 40 artículos?» (1995, 58 y 84).

Cayeron, pues, en el fetichismo de la mercancía, en pensar que el producto final del laboratorio era un simple texto. Por supuesto, Latour & Woolgar (1995, 62) reparaban en que había varios elementos del laboratorio que no poseían la función de inscripción (de transformar la materia en documentos escritos), y entre estas máquinas –que transformaban la materia entre uno y otro estado– señalaban un evaporador rotatorio, una centrifugadora, una batidora, un molinillo y un sintetizador automático de péptidos (que se cuidaban de distinguir del espectrómetro o del cromatógrafo, que producen la huella o firma de una substancia). Pero, cabe preguntar, ¿por qué Latour no hizo acopio, aparte de notas y documentos, de muestras, tubos de ensayo y aparatos, a la manera que en los museos etnológicos también hay instrumentos como lanzas, arcos o carcaj?

La respuesta está otra vez en su provocativo enfoque. Latour y Woolgar reducían la actividad de laboratorio a una actividad puramente literaria o semiológica, que trabaja sobre unas inscripciones y consiste en hacer circular unos enunciados. Por decirlo con Pierre Bourdieu (2003, 55): «La *visión semiológica del mundo* que los lleva a enfatizar las huellas y los signos los conduce también a esa forma paradigmática del sesgo escolástico llamada *textismo».* Los textos, he ahí la realidad última de la actividad científica a su juicio. La ciencia vendría a ser, por tanto, un discurso; un discurso capaz, sin embargo, de ejercer un efecto de verdad.

El corolario más palpable de este textismo era la adopción de un nominalismo radical: el mundo no tenía ninguna estructura inherente

y los hechos eran una consecuencia de nuestra forma de representarlo. En particular, el enunciado que afirma que la composición de la hormona que estudiaban los endocrinólogos del laboratorio es cierto tripéptido era una construcción social, pues la evidencia natural parecía insignificante dentro de esa realidad artificial que dibujaba el laboratorio. Es así que los experimentos originales no se han repetido debido a su excesivo coste, porque ¿quién recogería otras 500 toneladas de cerebros de cerdo para destilar un microgramo de TRH? Ahora bien, puesto que las cosas fabricadas existen, Latour & Woolgar (1995, 180) aclaraban que «no deseaban decir que los hechos no existen, ni que no hay tal cosa como la realidad [sino que] la 'exterioridad' es la *consecuencia* del trabajo científico, más que su causa».

La principal objeción que podemos poner desde coordenadas circularistas al interesante trabajo empírico de Latour y Woolgar es que el producto principal del laboratorio no era un artículo, un texto, sino una substancia sintetizada, un péptido cuya estructura se encontró idéntica a la de la hormona. Cuando Hacking (1988a) reseñó el libro, protestó remarcando que el producto representativo del laboratorio no era un puñado de inscripciones sino una nueva substancia, un péptido sintetizado.[23] De hecho, aunque Latour & Woolgar (1995, 70 y ss.) pasasen de puntillas sobre ello, entre los programas de investigación del Instituto Salk se contaba: 1º aislar e identificar nuevas sustancias naturales; 2º reproducirlas mediante síntesis; 3º comprender sus mecanismos de interacción (y el segundo programa era el que daba el porcentaje más alto de artículos publicados: 37 frente a 15 y 22). Dos de los principales objetivos del laboratorio eran, por tanto, la purificación de sustancias naturales y la fabricación de análogos de sustancias conocidas. Muchas de las substancias producidas por el laboratorio fueron posteriormente patentadas (Latour & Woolgar: 1995, 205 n.p. 21).

23 Hacking (2009, 14) aduce: «My blunt Materialism and his visionary Idealism were apparent even in those days!». La discrepancia filosófica entre Hacking y Latour volvió a escenificarse con motivo del célebre libro de Steven Shapin y Simon Schaffer, *Leviathan and the Air Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life* (1985). Cuando ocho años después la obra se tradujo al francés por influjo de Latour, el subtítulo se cambió: «Hobbes y Boyle entre la ciencia y la política». El libro era y no era el mismo. El foco estaba en otra parte. Para Latour (1990a), lo que los autores perseguían poner de manifiesto era el comienzo de la modernidad: la distinción inflexible entre naturaleza y sociedad. Sin embargo, para Hacking (1991), el protagonista no era una persona sino un aparato: la bomba de vacío, capaz de crear fenómenos previamente inexistentes.

No obstante, en la prolífica obra de Latour pueden diferenciarse dos periodos. En la primera etapa, con Woolgar, plantea que los hechos científicos son reales en la medida en que son construidos en el laboratorio, y caracteriza esta construcción como una práctica discursiva de estabilización de los enunciados. En la segunda etapa (con Woolgar centrado ya en la exploración de la reflexividad), traslada la relevancia de las inscripciones a las interacciones entre todos los actores intervinientes en la ciencia (cosas, prácticas, instrumentos, grupos, lugares, nudos, redes). En *Ciencia en acción* (cap. II), Latour logra pasar de los textos a las cosas, superando el textismo congénito. Los laboratorios son, desde luego, complejos equipos de inscripción, en los que la habilidad manual de los científicos permite transformar ciertas manipulaciones (el manejo de un escalpelo, el corte del íleon de una cobaya o una inyección de endorfina) en gráficos en papel (el pulso regular de una aguja garabatea picos conforme a las pulsaciones eléctricas del intestino diseccionado) por medio de diversos aparatos e instrumentos de inscripción. Pero en este emplazamiento los científicos también aparecen como portavoces de agentes no-humanos (los enzimas, las bacterias o el polonio). Y el escepticismo ante estas entidades se disipa «dejando que las cosas y las personas representadas digan por sí mismas lo mismo que sus representantes afirman que ellas quieren decir» (1992, 72). Esto es, la fuerza de la ciencia radica en el hazlo tú mismo, en la repetición del experimento, entendiéndolo como una prueba de resistencia en que se enfrentan los portavoces y las cosas. Si el test se supera, estaremos cerca de la constitución de un hecho objetivo; si no, como en el episodio de los rayos N, estaremos ante un artefacto subjetivo. Para Latour (1992, 77-78), detrás de las afirmaciones científicas, hay artículos; detrás de los artículos, más textos; detrás de estos textos, gráficas, mapas, etiquetas, inscripciones; detrás, mesas, aparatos e instrumentos cual cajas negras; detrás, pruebas de resistencia entre portavoces y cosas; y detrás, finalmente, los agentes no-humanos, que no son sólo palabras. La «estabilización de los enunciados científicos» deja paso a la «estabilización de las entidades científicas», que son concebidas como híbridos a medio camino entre lo natural y lo social. El denominador común entre Latour, Hacking y Bueno es, ahora, que el trabajo experimental que se realiza en el laboratorio implica, ante todo, un proceso interventor productivo

material en el que se constituyen los objetos de estudio y hasta sus condiciones gnoseológicas y ontológicas. No sólo se controlan los modelos teóricos mediante la observación y la medición, sino que se crean aparatos e instrumentos para interferir el curso de la naturaleza y crear fenómenos completamente nuevos.

Por ejemplo, Latour (1983) dilucida cómo se construyen las redes científicas que mueven el mundo en un caso de estudio al que volverá en varias ocasiones (Pasteur). El ántrax era una enfermedad que azotaba de manera catastrófica a la cabaña francesa. En 1881, Pasteur captó el interés de ganaderos y veterinarios al trasladar provisionalmente su laboratorio a una granja y realizar uno de los primeros experimentos retrasmitidos en directo a la prensa. Tras cultivar el bacilo, formando colonias macroscópicas (que, según Latour, hicieron visible lo invisible, el microbio), inoculó ántrax puro y ántrax muy diluido a algunos animales, observando cómo algunos morían y otros resultaban vacunados, resistiendo incluso la inyección de ántrax de cepas virulentas. Este nuevo conocimiento manipulativo era una palanca con la que levantar el mundo. Muy pronto los higienistas organizaron vacunaciones masivas por toda la geografía francesa. En otras palabras, la práctica de laboratorio se extendió, comenzó a circular, sin que haya un dentro-fuera, una adecuación entre ciencia y realidad: «casi siempre que hablamos del mundo exterior, damos simplemente por supuesta la previa extensión de una ciencia anterior» (1983, 247). Las ciencias transforman el mundo porque, como explicaremos más adelante de la mano de la teoría del cierre, se tragan –con ayuda de las técnicas y las tecnologías– ciertas partes de la realidad. Fue el propio laboratorio, donde Pasteur había logrado domeñar al nuevo actante (el microbio), el que se desplegó –como si fuera un poder político– por Francia.

Obviamente, esta clase de reflexiones más filosóficas que sociológicas han conducido a Latour a la convicción de que la sociología del conocimiento científico se ha estancado al no buscar una ontología más allá de la distinción Naturaleza-Cultura. El bacilo que «descubre» Pasteur, ¿es natural o social? Ante todo, es real, porque es una cosa (*res*), ya que *res*-iste las pruebas de los científicos. Pero ha hecho aparición en unas condiciones extremas, las del laboratorio, que en principio no tienen que ver con la naturaleza (donde, por ejemplo, no hay cultivos macroscópicos del bacilo). Se trata, según Latour, de un

actante, de una entidad que no es natural, ni social, que no es un objeto, ni tampoco un sujeto, sino todo lo contrario, o acaso un poquito de cada cosa (una entidad que se mueve entre el polo natural y el polo social hasta que se estabiliza, en este caso, en torno al primero). La tecnociencia «inventa» o, mejor, «crea» realidades, de manera que la naturaleza no es la causa sino la consecuencia de estos procesos de objetivización (Latour: 1992, 91 y 95). La ciencia asentada es realista en el sentido de que posiciona en la naturaleza ciertas entidades, como si siempre hubiesen estado ahí; pero la ciencia en construcción es, en cambio, relativista, pues los científicos no siempre se ponen de acuerdo sobre las acciones de los posibles actantes. La posición de Latour (1992, 97) es de una claridad meridiana: «los estudiosos de la ciencia, o continúan siendo relativistas incluso respecto a las partes de la ciencia ya establecidas, con lo cual parecen ridículos; o continúan siendo realistas, incluso frente a las cuestiones *calientes* e inciertas, y ello los hace pasar por tontos».

Desde la óptica de Latour, se trataría de superar la pobre y obsoleta ontología dualista (Naturaleza/Cultura, Sujeto/Objeto, Hombre/Cosmos), cuyo uso es generalizado entre los sociólogos estrictos, aceptando –como decían los pragmatistas– que un hombre no camina más con su pierna izquierda que con su pierna derecha. En el intento de salir del laberinto, Latour ha realizado mil y un malabarismos, entre ellos analizar la circulación de esos cuasi-objetos que son los actantes en construcción como ingredientes del mundo que oscilan con un grado variable de estabilización entre los dos polos de la ontología bimembre tradicional, entre lo social y lo natural. Pero la maraña de categorías que ha desarrollado a veces explica lo oscuro por lo más oscuro. Tendremos ocasión de extendernos sobre ella más adelante, mostrando cómo puede aclararse bastante desde la doctrina del hiperrealismo de la teoría del cierre, que es deudora de la ontología ternaria del materialismo filosófico.

3. El otro antropólogo de la ciencia, si puede llamársele así, cuya obra queremos traer a colación como apoyo del circularismo es Andrew Pickering. En 1984, publicó *Constructing Quarks*, una historia sociológica de la física de partículas o, como prefiere denominarla, de la física de altas energías, mentando, no su cuestionable tema, sino las condiciones de su manifestación.

La física contemporánea distingue cuatro modos fundamentales de interacción de la materia: la gravitación (que afecta a todas las partículas del Universo, pero es extremadamente débil en comparación con las otras fuerzas que aparecen en el campo de la física de partículas), el electromagnetismo (que afecta sólo a las partículas cargadas), la interacción fuerte (que afecta a los hadrones –como el protón o el neutrón– pero no a los leptones –como el electrón o los neutrinos– y es responsable de que el núcleo de los átomos permanezca unido) y, por último, la interacción débil (que está detrás de la desintegración radioactiva). En 1964, Murray Gell-Mann y George Zweig propusieron independientemente la hipótesis de que los hadrones no son elementales, sino que están compuestos por tres ingredientes, que uno llamó *quarks* y otro *ases*. A los tres quarks propuestos originariamente (u, d, s), se agregaron otros tres (c, b, t), cada uno de los cuales viene en tres colores, formando con sus respectivos *antiquarks* un elenco de 36 componentes irreductibles. A ellos hay que agregar los leptones (electrón, muón y tauón, con sus respectivos neutrinos) y las correspondientes antipartículas de antimateria, sumando un total de otros 12 componentes elementales. Junto a las partículas mediadoras de las cuatro fuerzas fundamentales (fotón, gluón, bosones W y Z y el hipotético gravitón), conforman el «modelo estándar», el zoo de partículas elementales, que sobrevive desde 1985 prácticamente sin novedad.[24] Pero este zoo, compuesto de 48 partículas y hasta 12 mediadores, contiene además una larga lista de parámetros libres, una veintena de valores numéricos que el modelo no explica y han de ajustarse experimentalmente, como las masas de los quarks y los leptones o la intensidad de las interacciones (lo que deja un regusto de insatisfacción a los físicos).

24 Los físicos de partículas creen improbable la existencia de nuevas generaciones de leptones e incluso de quarks por el siguiente resultado. El bosón Z, que se produce bombardeando electrones sobre positrones a una energía correspondiente a la masa de esta partícula, puede desintegrarse –aunque no sea directamente observable– en un par neutrino-antineutrino de cada una de las familias (electrónica, muónica y tauónica, las tres que de momento se conocen). Diversos cálculos teóricos relacionan la semivida de la partícula Z con el número N de familias existentes. Los experimentos en el CERN arrojan un valor de $N = 2{,}984 \pm 0{,}008$, de modo que $N = 3$ es evidentemente la mejor elección (aunque el número N estimado por este resultado experimental no cubre todas las especies de neutrinos posibles, sólo las de neutrinos ligeros cuya masa es inferior a la mitad de la masa de Z, pudiendo existir una cuarta generación de neutrinos pesados, de la que de momento no se ha hallado rastro).

Pues bien, para Pickering (1984), los quarks no son entes avistables ni entes cuya existencia pueda inferirse inequívocamente a partir de indicios empíricos. No son un *datum* sino un *constructum*. Una construcción colectiva gracias a una simbiosis de teoría y experimento, así como a una variada gama de intereses. Los físicos se han convencido de su existencia, hasta creer que el mundo está hecho de quarks; pero su creencia no compromete necesariamente al resto del género humano, puesto que los físicos de partículas forman una comunidad de especialistas bastante apartada del mundo: «Nadie que esté armando una visión del mundo tiene la obligación de tomar en cuenta lo que la ciencia del siglo XX tiene que decir», exagera Pickering (1984, 403), obviando la impronta que en el *mundus adspectabilis* han tenido ciertas tecnologías emanadas de la física puntera del siglo pasado (la bomba atómica, las centrales nucleares, el transistor, las telecomunicaciones, Internet, el GPS, la resonancia magnética nuclear o la PET).

Para reforzar su tesis, Pickering repasa varios episodios de la física de partículas de la segunda mitad del siglo XX. Y subraya que el rumbo de esta rama de la física depende, por ejemplo, de la aceptación de la unificación del electromagnetismo y la interacción débil propuesta por Glashow, Salam y Weinberg (1967).[25] La teoría electrodébil predice la existencia de una corriente neutra en interacciones débiles. En 1972, los físicos experimentales del CERN en Ginebra pusieron a prueba esta predicción proyectando un haz de neutrinos a través de Gargamelle, la nueva cámara de burbujas gigante. En un total de 290.000 fotografías, identificaron únicamente 100 casos de interacción débil por corriente neutra, ya que normalmente queda eclipsada por otras interacciones más fuertes (lo que demostraría, una vez más, la insignificancia de la evidencia natural en ciencia). El descubrimiento, confirmado luego en el Fermilab en 1974, les valió el Nobel de Física de 1979. Ahora bien, este fenómeno sólo se marca en las fotografías como una lluvia de partículas y antipartículas que acaba identificándose *a posteriori* como un suceso candidato a corriente neutra.

25 El modelo estándar se sustenta sobre una colección de teorías cuánticas de campos, entre las que se incluyen la teoría propuesta por Glashow, Salam y Weinberg (para el electromagnetismo y la interacción débil) y la cromodinámica cuántica (para la interacción fuerte), que a su vez se basan en la electrodinámica cuántica (la teoría cuántica que describe la interacción entre electrones y fotones). De momento, las teorías que buscan unificar dentro de un mismo marco estas tres interacciones, e incluso la gravedad, no pasan de ser música celestial.

De hecho, tales fenómenos nunca han faltado en los experimentos con neutrinos, pero hasta 1972 se atribuían a neutrones desprendidos de las paredes de la cámara, a ruido de fondo, pues. Varios grupos de investigación de las Universidades de Washington y Oxford habían publicado para entonces resultados negativos. Pero con la aparición de la teoría electrodébil, el interés por las corrientes neutras se reavivó y, según Pickering, ayudó a concebirlas, a su parto, pues los físicos cambiaron de opinión y reinterpretaron la evidencia recogida en otro sentido.

Pickering (1984) hace hincapié en que la comunidad de físicos optó, tomó un camino en detrimento de otros, porque no hay un curso intrínseco que guíe el desarrollo de la física de partículas elementales. Ninguno de los experimentos (ni los positivos ni los negativos) fueron desmentidos o cambiaron:

> Lo que cambió fue el *contexto* en que los datos se evaluaban […] Los físicos de partículas *eligieron* aceptar los resultados del experimento del SLAC [un experimento con electrones polarizados realizado en 1978 en el acelerador lineal de Stanford], *eligieron* interpretarlos en términos del modelo estándar (en vez de apelar a un modelo alternativo que pudiera reconciliarlos con los resultados de los físicos atómicos) y, por lo tanto, *eligieron* considerar los experimentos de Oxford y Washington como adoleciendo de algún defecto de ejecución o interpretación (1984, 401).

Un estudio concienzudo de la física de partículas demuestra, desde su punto de vista, que los científicos son agentes genuinos, personas que hacen a la vez que piensan, constructores a la vez que observadores, y que emiten juicios que determinan el futuro de su disciplina dentro del flujo continuo de la investigación. «Los juicios tienen consecuencias para la práctica futura: las oportunidades de investigación surgen o desaparecen según las decisiones adoptadas respecto a la existencia de fenómenos naturales o a la validez de las teorías» (1984, 404). Las decisiones de los científicos están en principio abiertas, «pero históricamente las opciones están embargadas de acuerdo con la percepción de las oportunidades percibidas para la práctica futura» (1984, 405). La razón para aceptar ciertos resultados y no otros es la posible futura utilidad de los mismos. Con otras palabras, para Pickering los físicos creen en la realidad de los quarks o de las corrientes neutras porque esta creencia se espera que sea más útil en el futuro en

relación con la teoría, los experimentos y las creencias de la comunidad científica. Los físicos prefieren vivir en un mundo en el que los quarks o las corrientes neutras existan.

Mientras que científicos como Steven Weinberg creen que los quarks son inevitables, porque están ahí, porque son reales, y han ridiculizado el libro de Pickering apuntando que no se lo hubiera ocurrido escribir un libro análogo titulado *Construyendo el Everest*, Pickering –al igual que otros sociólogos del conocimiento científico– intenta subrayar que la física es contingente e imagina una física alternativa en que el concepto de quark no amueblase nuestro mundo.

Al respecto Hacking (2001, 62) ha apuntado: «Quizá sea la idea de quark, más que los mismos quarks, lo que es una construcción social [...] los quarks, los objetos mismos, no son constructos, no son sociales y no son humanos». Pero Pickering le aclaró por carta lo siguiente:

> Yo nunca diría que *Constructing Quarks* sea sobre la idea de quark. Ésa puede ser tu postura sobre el constructivismo respecto a las ciencias naturales, pero no la mía. Mi idea es que si uno accede al mundo de cierta manera, uno puede obtener ciertos fenómenos que pueden ser interpretados como evidencia a favor de los quarks (Hacking: 2001, 63).

De hecho, el título del libro no deja lugar a dudas, más allá de tentaciones iconoclastas. Pickering sostiene que la evolución de la física no está predeterminada de antemano, es completamente contingente y podría haberse desarrollado de otra manera. No tendría, en concreto, por qué haber tomado la ruta de los quarks. El problema es si tal física equivalente en todo a la nuestra no es sino ciencia ficción. Es probable que teorías diferentes puedan ser compatibles al tiempo con el mundo, pero que *puedan* no quiere decir que *deban*. Para el Pickering de los 80, aunque no todo vale, el trabajo científico presenta pocas ligaduras. Pero Galison o Franklin combaten esta opinión, subrayando que las ataduras son mucho mayores de lo que parece, en especial en lo que atañe a la tradición experimental. El estado del mundo constriñe qué clase de aparatos y fenómenos pueden construirse.

En este punto conflictivo, Galison (1987) atiende al laborioso y polémico proceso, rico en reflexiones inteligentes y manipulaciones ingeniosas, por el cual los hechos se hacen y el experimento determina qué es lo que verdaderamente se ha observado. Al igual que Pickering

(1984), Galison (1987, cap. 4) describe con detalle los experimentos que condujeron al establecimiento de la existencia de las corrientes neutras pronosticadas por la teoría de Glashow, Salam y Weinberg. Los experimentadores lograron *ver* como casos de corriente neutra eventos que ocho años antes se hubieran descartado. La razón estriba, a su entender, en el gran tamaño de Gargamelle, la cámara de burbujas del CERN, que permitió por vez primera distinguir entre los casos genuinos de corriente neutra ocurridos *dentro* de la cámara y las apariencias de ello provocadas por el ruido de *fuera*. Los sucesos del primer tipo se distribuían homogéneamente por toda la cámara, mientras que los segundos disminuían uniformemente hacia el centro de la misma. Es más, el grupo norteamericano, empeñado en demostrar la inexistencia de corrientes neutras, introdujo cambios en el diseño de su cámara para filtrar mejor el ruido neutrónico de fondo. La persistencia de los fenómenos que habían creído meros efectos del ruido condujo finalmente, según cuenta Galison (1987, 229), a corroborar en una comunicación publicada en 1974 en *Physical Review Letters* el descubrimiento anunciado por los europeos en la misma revista un año antes.

Pickering (1984) y Galison (1987, cap. 5) comparten que la física experimental es una praxis traspasada de teoría, pero el segundo rebate la idea de que esté siempre pendiente de la vanguardia de la física teórica y, por consiguiente, sujeta a sus intereses. La física experimental guarda diversos grados de compromiso teórico, que varían desde los más fuertes (con los principios fundamentales) a los más débiles (con la investigación en curso). Y ciertos resultados tienen su manera testaruda de imponerse, debido a la creciente estabilidad: «con estabilidad me refiero a todos esos procedimientos que varían algún aspecto de las condiciones experimentales: cambios en la sustancia puesta a prueba, en el aparato, en el arreglo experimental, o en el análisis de datos que dejan los resultados prácticamente inalterados [...] cada variación hace más difícil postular un relato causal alternativo que satisfaga todas las observaciones» (Galison: 1987, 260). En concreto, las corrientes neutras se convirtieron en un resultado estable cuando se reprodujeron tanto en la cámara de burbujas europea como ante los detectores electrónicos norteamericanos.

No abundan los estudios sobre un mismo episodio desde varias perspectivas. Mientras que el relato de Pickering ponía el énfasis en

la contingencia y el oportunismo, el de Galison lo pone –por decirlo con Franklin (1986)– en el evidencialismo, en cómo los científicos se esforzaron en argumentar persuasivamente, fuera de toda duda razonable, la existencia de corrientes neutras. La caza del bosón de Higgs –llamado por algunos, en una hipérbole gratuita, «la partícula divina»[26]– reúne algunas de las características que acabamos de observar. El modelo estándar, muy exitoso por otra parte, arrastra desde los años 60 un problema a cuestas, el de explicar la masa de las partículas, ya que en teoría todas ellas deberían ser partículas sin masa, como el fotón. Peter Higgs elaboró una teoría consistente en imaginar un campo que impregna de masa las partículas elementales, y que cuando es excitado por encima de cierto umbral provoca la aparición del célebre bosón.

Su búsqueda se puso en marcha en 2009 en el LHC (Gran Colisionador de Hadrones) del CERN, un ciclotrón de 27 kilómetros de longitud, que constituye todo un desafío ingenieril. Por ejemplo en lo tocante a la fábrica de helio líquido para enfriar los imanes que en régimen de superconductividad aceleran, mediante la creación de intensos campos electromagnéticos, las partículas cargadas. La colisión de estas partículas a altas energías (de 10^{11} protones a velocidad cercana a la de la luz) origina nuevas partículas. La dificultad estriba en que la partícula de Higgs, al ser muy masiva, se desintegra extremadamente rápido en otras partículas más ligeras y estables. La probabilidad de producir un bosón de Higgs en una colisión protón-protón se estima del orden de 10^{-12} y se desintegra en 10^{-21} segundos. Es decir, a diferencia de otras partículas, la búsqueda no reside en su identificación en una traza dejada en los detectores CMS o ATLAS, porque el bosón no deja una traza sino a lo sumo un vértice, un minúsculo punto. Para hallar estos vértices se rastrean las trayectorias de las partículas emergentes de la colisión mediante varias capas concéntricas de detectores.

26 Ongay (2008) hace la crítica filosófica pertinente a este calificativo, así como al anejo que llama «la máquina de Dios» al LHC, por cuanto supuestamente reproduce los momentos próximos al origen del Universo. Por su parte, Madrid Casado (2016a) critica algunas de las aseveraciones (filosóficas) de los científicos con motivo del hallazgo de las escurridizas ondas gravitacionales, y explica cómo el desfase en la interferencia de rayos láser se interpreta como el paso de una onda gravitacional provocada por la colisión de dos agujeros negros, dado que el interferómetro LIGO cruza su investigación con otras que se llevan a cabo con telescopios y satélites para saber qué fenómeno cósmico se produjo en el tiempo que se registró un pico no achacable a ruido local en el desfase.

Las pistas que registran estos detectores cuando las partículas cargadas los atraviesan se extrapolan regresivamente hasta la vecindad del vértice primario. Como, a pesar de la elevada energía con que trabaja el LHC, la producción de un bosón de Higgs es un suceso realmente insólito, los investigadores aceleran la tasa de interacciones, casi hasta los mil millones por segundo, de manera que los muy raros sucesos de interés han de ser desenmarañados de una enorme cantidad de desechos. La presencia del bosón se infiere a partir del análisis estadístico de un gran número de datos, localizando los sucesos candidatos a haberlo producido por sus restos, que son aquellos en que el bosón de Higgs se desintegra dando lugar a un fotón y un antifotón o a dos bosones Z que enseguida producen cuatro leptones.

La repetición y el registro durante tres años de estos experimentos ha permitido concluir, tras siete meses de análisis estadístico computerizado, que en el espectro de masa-energía se observa una producción de masa en un rango que sólo encaja con la hipótesis (alternativa) de existencia del bosón de Higgs. En diciembre de 2011 se habían atesorado datos para concluir que las observaciones se distanciaban significativamente 4 desviaciones típicas de la hipótesis (nula) de partida, que es que no existe la mencionada partícula. Pero los físicos experimentales, a diferencia de los teóricos, aún no estaban satisfechos, y no certificaron el descubrimiento hasta que no alcanzaron una confianza de 5 desviaciones típicas en julio de 2012. La probabilidad de observar un exceso de masa como el observado por azar, es decir, bajo el supuesto de que no hay tal partícula es de $3 \cdot 10^{-7}$. Este es el p-valor del test estadístico (Madrid Casado: 2014a, 103). Pero resta analizar si esta partícula cumple las propiedades esperables teóricamente (lo que no es fácil), o se trata de otra partícula totalmente inesperada. Sea como fuere, parafraseando a Giere (1988, cap. 5), «la única explicación remotamente plausible de lo que hacen esos físicos demanda que, como estudiosos de la empresa científica, invoquemos entes que tengan aproximadamente las propiedades que los físicos mismos les atribuyen».

Posteriormente, a lo largo de los 90, Pickering ha afinado su contingentismo. En *The Mangle of Practice* (1995), Pickering busca entender la recíproca co-producción de ciencia, tecnología y sociedad. Para ello, realiza un análisis de la práctica científica real que pretende

encajar a un mismo tiempo las dimensiones conceptual, social y material de la ciencia, gracias al uso del idioma performativo. Pickering (1995, 22-23) forja la imagen del «mangle» (rodillo, exprimidor) para dar cuenta del proceso dialéctico de resistencia y acomodación entre el científico y el mundo, a través de las omnipresentes máquinas, aparatos e instrumentos. En ciencia, la teoría y la práctica son recursos plásticos que terminan por acoplarse y darse mutuo soporte (1995, 21-22). Este autor, como ya comentamos, apuesta –como Bueno, Hacking o Latour– por concebir a los científicos como agentes humanos que continuamente actúan en un campo de agencia material. En su faena diaria, los científicos encuentran que a veces el mundo se resiste y tienen que amoldarse a ello, corrigiendo la teoría de aplicación a los fenómenos, la teoría de funcionamiento de los aparatos o, atención, los propios aparatos. Para Duhem, pionero del holismo, esta última alternativa hubiera sido impensable. Pero, para Pickering (1995, 187), se da incluso una inconmensurabilidad maquinística ligada al desarrollo de los aparatos: por ejemplo, en los 70, la cámara de burbujas fue progresivamente desplazada por otros detectores electrónicos (1995, 191). A la larga el resultado es un ajuste robusto entre esos tres factores. Pero, en principio, aunque no todo vale, son posibles varios tipos de ajustes incompatibles entre sí.

Desde nuestras coordenadas remarcaríamos que en ciencia no hay círculo vicioso sino circularismo: los científicos van reconstruyendo –reproduciendo y refinando– sus experimentos y/o teorías, eliminando ruidos y/o cambiando conceptos.[27] Una co-determinación operatoria de materiales que promueve la neutralización o segregación de la subjetividad a través de la recursividad y, como corolario, la consecución de la objetividad (aunque, naturalmente, hay concatenaciones más fuertes que otras: por ejemplo, la física del estado sólido respecto de la física de partículas). Gustavo Bueno o Ian Hacking coincidirían con Andrew Pickering en subrayar la contingencia que se da en el desarrollo teórico de la ciencia. Pero, en cambio, señalarían que la práctica

27 El físico experimental Robert Millikan lo expresaba así al recoger el Premio Nobel en 1924: «La ciencia avanza sobre dos pies, la teoría y el experimento […] Unas veces se pone delante uno de los pies, otras veces el otro, pero el progreso continuado sólo es posible usando ambos –teorizando y después experimentando, o hallando nuevas relaciones en el proceso de experimentación y luego dando un paso con el pie teórico, y así alternándose sin fin–» (Millikan: 1924).

es mucho más resistente, menos plástica; porque el mundo presenta líneas morfológicas estables que impiden que nuestros conceptos lo recorten arbitrariamente y nuestras manos sólo pueden –a través de las máquinas– modificar esas líneas de fuerza en parte. En este sentido, lo que sería una construcción social sería el concepto de quark, no los propios quarks, por lo menos una vez logremos manipularlos uno a uno (aunque la hipótesis de confinamiento parece prohibirlo). A día de hoy, dado que el controvertido experimento setentero de las bolitas de niobio y las cargas fraccionarias no consiguió quitarles el rótulo de elementos de cálculo al no poder ser reproducido[28], su existencia se acepta estudiando la dispersión inelástica profunda, es decir, la dispersión en las colisiones electrón-protón, que aparentemente revelan la subestructura de este último, a la manera que a Rutherford se le evidenció el núcleo atómico en su famoso experimento: los electrones muy energéticos que se lanzan contra los protones a veces los atraviesan pero otras veces rebotan, y la velocidad y dirección con que lo hacen indican la presencia y distribución de los quarks en el interior del protón.

Relativizar globalmente el experimento y la teoría –como han hecho la mayoría de sociólogos del conocimiento– no quiere decir que no jueguen papel alguno: las capacidades manipulativa y predictiva están ahí con independencia de las conversaciones entre físicos y funcionan como factores inhibidores o reforzadores de su conducta, como ha venido a reconocer Pickering (1995). Volviendo al caso de los neutrinos solares: pese a la gran expectativa social (para que la teoría astrofísica de que la fusión nuclear es la fuente de energía de las estrellas recibiese apoyo experimental), la realidad material se mostró terca y el experimento de Davis evidenció la desaparición de 2/3 de los neutrinos solares predichos (una cifra «racional» que no podía ser casual). Lo que dio origen a una dialéctica experimento-teoría para superar la contradicción. Primeramente, se buscó ajustar a la baja la

28 Según cuenta Pickering (1995, 210), los experimentos desarrollados por William Fairbank y sus estudiantes en la Universidad de Stanford a mediados de los 70 se inspiraron en el diseño del experimento de la gota de aceite de Millikan, pero los resultados positivos que comunicaron no consiguieron ser reproducidos por Giacomo Morpurgo en Génova y poco a poco languidecieron. Por esa época se pusieron de moda entre los universitarios unas camisetas con los lemas: «si quieres ver quarks, ven a Stanford» y «tienes que tener bolas de niobio si quieres atrapar quarks».

predicción teórica, pero no funcionó y, además, pareció una estrategia *ad hoc*. En segundo lugar, se cuestionó la fiabilidad del experimento. Para ello se mejoraron los detectores y, pese a que la señal era la esperada si se forzaba artificialmente con 500 átomos de argón radiactivo, la señal natural siguió sin incrementarse. En tercer lugar, se procedió a un reajuste en el eslabón teórico más débil, en la física de los sutiles neutrinos. Como sólo se detectaba 1/3 de los neutrinos solares predichos, se planteó la teoría de la oscilación neutrínica (los neutrinos en su viaje del Sol a la Tierra oscilan entre *tres* tipos de neutrinos). Y, por último, se testó con éxito esta revisión de la teoría en los observatorios de neutrinos japonés y canadiense hacia 2002.

Ian Hacking (2001, 71) defiende que Pickering (1995) es la contribución más materialista a los estudios sociales de la ciencia hasta la fecha; y Hacking (1992, 31) apunta que su tesis es materialista, tanto en su atención al lado material de lo que se hace en ciencia como en su oposición al intelectualismo. A su postura Pickering (1995, 183) la denomina «realismo pragmático» para distinguirla del realismo adecuacionista, ya que no se preocupa de si las representaciones científicas se corresponden con la naturaleza. Acepta que el mundo puede soportar un conjunto indefinidamente grande de ontologías y de cuerpos de conocimiento, cada uno con su particular campo de aparatos y máquinas. Ciertamente, puede calificar de realista su concepción de la ciencia y, a pesar de ello, su concepción puede no tener de realismo más que el nombre. De hecho, Pickering (1995, 183 n. p.) reconoce que muchos colegas le han preguntado por qué la denomina realista. Según él, tanto por motivos retóricos (para no poner en guardia antes de tiempo a quienes no creen que la ciencia sea una construcción social) como porque está en contra del monopolio del realismo por parte de los adecuacionistas. Pickering (1995, 185) se declara agnóstico frente al realismo de teorías, porque la controversia tradicional sobre la correspondencia entre la teoría y el mundo es uno de los tópicos centrales del idioma representacional que desaparece al asumir el idioma performativo. Pero Pickering (1995, 192 n. p.) también se declara neutral con respecto al realismo de entidades por el que aboga Hacking, y esto marca los límites gnoseológicos de su enfoque, dado que –a diferencia de Latour– desatiende la problemática de la verdad científica y la ontología resultante.

12.3 Nuevo rumbo en filosofía de la física

1. La respuesta del circularismo al adecuacionismo, al descripcionismo y al teoreticismo ha consistido en postular una nueva idea realista de ciencia más allá de la metafísica teoría de la verdad como adecuación o correspondencia. El *realismo materialista* de Gustavo Bueno y el *realismo experimentalista* de Ian Hacking saben que las armas para atacar al antirrealismo científico son análogas a las que Carlos Marx empleara contra el idealismo filosófico de su época: la refutación acontece en la *praxis* (como ejemplificaban los casos del electrón y la red eléctrica o del fotón y la puerta del supermercado). A diferencia de la mayoría de sus colegas, estos filósofos –igual que Latour o Pickering– no piensan la física como representación sino como transformación, construcción o intervención. La teoría no tiene por qué atenazar la práctica científica. El físico compone teorías *y* manipula realidades.

Disponemos, por tanto, de dos filosofías circularistas de la física: la *teoría del cierre categorial* de Bueno y el *nuevo experimentalismo* de Hacking... ¿por cuál tomar partido? Bueno (1992, 1362) se plantea las siguientes preguntas: «¿Hasta qué punto puede afirmarse que el circularismo y la teoría del cierre categorial se identifican? ¿No serán posibles versiones del circularismo gnoseológico no materialistas?» (1992, 1362). Y, a juicio de Hidalgo (1990, 42), que intentó rastrear candidatos que dieran al traste con un supuesto monopolio circularista, «serán circularistas aquellas estrategias que, oponiéndose frontalmente al adecuacionismo, asignen valor de verdad a la negación conjunta de materia y forma». De otra manera, serán condiciones necesarias –¿y suficientes?– del circularismo las siguientes, a saber: (1) negación de la hipóstasis de la materia (datos, fenómenos, experimentos...) y de la forma (hipótesis, leyes, teorías...) en ciencia; (2) asunción de que existe una materia técnicamente trabajada o elaborada de antemano a la ciencia; (3) la actividad científica procede mediante re-construcción de esos materiales; y (4) concepción de la verdad en el sentido del pragmatismo histórico de Vico (*verum factum*).

Nosotros hemos propuesto *Representar e intervenir* de Ian Hacking como instancia de circularismo (indeterminado). Pero nos decantamos por la teoría del cierre, porque el experimentalismo presenta ciertas

limitaciones insalvables. Esta tendencia ha tenido una gran difusión dentro del ámbito de la filosofía anglosajona de la ciencia, y entre sus familiares y allegados se cuentan filósofos e historiadores de la ciencia de la talla de Peter Galison, Allan Franklin, Nancy Cartwright, &c. El problema radica en que no todos los que se encuentran en sus filas asumen el bagaje ontológico y gnoseológico de su líder, Ian Hacking. En otros términos, como denuncia Lino Camprubí (2005), no hay uno sino muchos *nuevos experimentalismos*. No existe unicidad. En efecto, unos –como Galison o Franklin–, que son la mayoría, emplean la doctrina experimentalista como mera metodología o heurística para hacer historia o sociología de la ciencia, mientras que otros –como Hacking y Cartwright– la utilizan como toma de posición con respecto a las controversias filosóficas tradicionales (verdad científica, realismo científico...). Se puede ser nuevo experimentalista y, simultáneamente, teoreticista, toda vez que se señalen los contextos tecnológicos de las ciencias pero no se diga nada acerca de su constitución específica. El enfoque experimentalista puede ser solidario del teoreticismo si, pese a subrayar la participación de la técnica en la ciencia, no se es consciente del grado de objetividad que alcanzan las construcciones científicas al margen de su génesis operatoria.

Aparte del caso de Galison que analiza Camprubí (2005), otro caso patológico nos lo suministra Cartwright, una nueva experimentalista teoreticista. Esta filósofa de la ciencia insiste en el aspecto práctico experimental de la ciencia, pero partiendo de postulados instrumentalistas. Cartwright (1983, 2) acepta lo fenomenológico pero rechaza lo teórico. Y es que nuestra filósofa mantiene que las leyes de la física *mienten*, puesto que son leyes *ceteris paribus*, esto es, si las interpretamos literalmente como descripciones, resultan claramente falsas. No obstante, esto no es óbice para que crea en la existencia de las entidades que involucran esas leyes, consolidando su creencia sobre la *inferencia de la causa más probable*, un refinamiento de la *inferencia a la mejor explicación*. Las explicaciones causales están comprometidas con afirmaciones existenciales: «Al explicar la traza de una partícula, digo que la partícula causa la traza, y que la explicación [...] carece de sentido a menos que uno afirme que la partícula en movimiento causa, hace, produce aquella traza [...] Si no hay electrones en la cámara de niebla, no sé por qué aparecen las trazas» (Cartwright: 1983, 92 y 99). Si los

materialistas aceptan aquellas entidades que sirven para construir o intervenir, los causalistas como Cartwright aceptan las que sirven para causar o interferir.[29] La filosofía de Cartwright presenta, empero, similitudes con la de Hacking, pero su interés por la práctica científica es más epistemológico que ontológico. Para Cartwright la experimentación aporta evidencia para *creer* en la existencia de entidades hipotéticas, mientras que para Hacking *prueba* directamente su existencia (la referencia de los términos teóricos se encuentra en la práctica por mediación de los aparatos).

En resumidas cuentas, el nuevo experimentalismo ha llamado la atención sobre el componente material constitutivo de las ciencias; pero presenta un carácter fragmentado e inconexo, ya que los autores que se inscriben bajo este rótulo no siempre comparten las mismas premisas gnoseológicas. Últimamente se ha señalado mucho el papel de los aparatos en ciencia, pero sólo Gustavo Bueno (1992, 182-183) ha llegado a afirmar que los aparatos son el lugar de la verdad en la ciencia, con toda la radicalidad ontológica que esto conlleva.

2. Así pues, tomamos partido por la «gnoseología transformacionista» –por decirlo con Navarro Crego (2006)– de la teoría del cierre de Bueno, cuyos presupuestos filosóficos implican una ontología materialista y una transformación de los materiales del mundo (y de los tres géneros de materialidad que lo componen). La potencia de la teoría del cierre categorial en cuanto filosofía de la física se medirá en el próximo capítulo a la hora de analizar una ciencia dada como es la física cuántica, así como en la Parte II cuando se analice la cosmología.

29 Una concepción de la causalidad ligada a la acción que remite a Georg Henrik von Wright, para el que podemos estar tan ciertos de las leyes causales como podemos estarlo de nuestras aptitudes para hacer y realizar cosas.

Capítulo 13
Gnoseología analítica de la física

1. La teoría del cierre categorial no contiene una idea *sustancial* sino *funcional* de ciencia. Una idea válida para cada ciencia, al tiempo que reconoce la pluralidad de la república de las ciencias. En general, la filosofía de la ciencia de Gustavo Bueno proyecta una imagen de la ciencia en que, por suerte, la práctica ya no está cautiva de la teoría y en que –invirtiéndose las tornas– la teoría es la que ahora aparece cargada, cargada experimentalmente. A partir del momento en que consideramos a los físicos como sujetos operatorios, con sus máquinas e instrumentos como materiales de la física, al igual que las fórmulas y las ecuaciones, la filosofía de la física experimenta un viraje completo. Desde este enfoque, el punto de partida de toda ciencia –conviene advertir– no es la experiencia (los datos de los sentidos del empirismo) sino la técnica: la realidad que absorben las ciencias está horadada o recortada por las técnicas (los principios de la termodinámica, por ejemplo, provienen del trato con máquinas; y los elementos químicos no existen aislados en la naturaleza, sino que son purificados industrialmente). La inducción ya estaba en Aristóteles, y lo que Bacon ponderó es el trabajar en el mundo, de modo que la famosa «verificación científica» no es tanto empirista cuanto operatoria, es decir, que está ligada a la historia tecnológica y a la transformación de la realidad que producen las ciencias (lo que, dicho sea de paso, constituye el máximo exponente de su veracidad y objetividad). Las ciencias y las técnicas pueden disociarse en el plano

del análisis pero son inseparables en el plano del funcionamiento, porque las ciencias se abren paso por medio de las técnicas.

Atendamos, dentro de estos prolegómenos, a la siguiente fotografía a fin de terminar de fijar ideas, que representa a Marie Curie trabajando en su laboratorio en Francia (1921). Esta imagen presenta cierto parecido con la del matemático Luca Pacioli que ya estudiamos. Análogamente, aparece una mesa como suelo de las manos, M_1 en forma de substancias y aparatos, M_2 en forma de sujeto operatorio (Marie Curie) que manipula cuerpos, y M_3 en forma de libro donde se registran los resultados alcanzados. En ambas imágenes la ciencia se muestra como un saber hacer con algo distinto de palabras; y el científico, como artesano. La praxis científica consiste en la creación o fabricación de un orden –en cierto modo reificado o materializado– sobre un espacio de manipulación (la pizarra, en matemáticas; el laboratorio, en física), mediante una concatenación de operaciones quirúrgicas (corporales) que implican un equipamiento y las manos tanto o más que la cabeza. No está de más traer a colación una observación de campo de los etnometodólogos Lynch, Livingston & Garfinkel (1983, 168): «el manejo del equipo no era simplemente un acompañamiento atlético del razonamiento químico; era arte y parte del razonamiento químico (como tocar un instrumento musical no es un simple acompañamiento atlético de la música, sino la existencia-en-la-producción de cuanto puede ser música) […] el orden generado por la ciencia es un proceso material de incorporación e integración de objetos en nuestro lenguaje y en nuestras prácticas».



Figura 2: Marie Curie en su laboratorio (1921)

Contra el escepticismo pero sin fundamentalismo, la teoría del cierre visualiza cada ciencia como una multiplicidad de objetos que, mediante operaciones realizadas por los científicos usando aparatos, se componen

unos con otros hasta configurar relaciones. Cuando estas relaciones entre objetos (contingentes) se hacen internas y necesarias, los científicos determinan un teorema. Los teoremas son las células de la verdad en ciencia, porque aprehenden el funcionamiento real de las cosas bajo las construcciones científicas. Con el tiempo, las concatenaciones de términos y proposiciones organizan el campo de cada ciencia de un modo inmanente que lo diferencia de los campos de las demás ciencias o disciplinas. Ocurre, entonces, el cierre categorial. El bloqueo del círculo de esa ciencia propicia la conversión de su campo en una categoría y la delimitación de esa ciencia como ciencia entre las otras ciencias.

Tras esta meteórica presentación de la teoría del cierre, vamos a comenzar a levantar la cartografía de la mecánica cuántica (no relativista), que es la ciencia física que vamos a tomar como parámetro ilustrativo. Ensayaremos, en primer lugar, una *gnoseología analítica*; con otras palabras, estudiaremos *anatómicamente* el cuerpo de la física cuántica, como si estuviera *estático*. A continuación, imprimiremos movimiento a esta foto fija. Esto es, practicaremos una *gnoseología sintética*, mediante la que estudiaremos *fisiológicamente* el cuerpo de la física cuántica, analizando su funcionamiento *dinámico*. Llegó la hora de ver la teoría del cierre categorial en acción.

2. La física cuántica posee, como toda ciencia, un *espacio gnoseológico* propio, que abarca desde la radiación hasta las propiedades de los transistores, desde la física de partículas elementales hasta la acción de algunas enzimas y moléculas orgánicas. Este espacio tiene tantas dimensiones como el lenguaje, que es el hilo conductor de nuestro análisis de la ciencia. Hay, por tanto, tres dimensiones: sintáctica, semántica y pragmática. En consecuencia, este espacio tridimensional queda vertebrado por tres ejes: un *eje sintáctico* (centrado en el estudio de los signos σ empleados en mecánica cuántica), un *eje semántico* (centrado en el estudio de los objetos *O* de la física cuántica) y, por último, un *eje pragmático* (encargado de estudiar los sujetos científicos *S*). A su vez, cada eje queda configurado en una terna de *figuras gnoseológicas* que recogen las posibles conexiones que pueden establecerse en la materia de estudio de ese eje según se analice a través de signos σ, objetos *O*, o sujetos *S*. Al igual que en el caso de las matemáticas, dentro del eje sintáctico nos aparecen tres figuras de acuerdo a las tres combinaciones posibles: (σ, *O*) = *términos* (cuando los signos los ponemos en

conexión con los objetos, nos encontramos con los términos); (σ, *S*) = *operaciones* (cuando los signos entran en conexión con los sujetos, hay operaciones); (σ, σ) = *relaciones* (cuando conectamos signos y signos, estamos ante relaciones). Dentro del eje semántico: (*O*, *O*) = *referenciales* (cuando estudiamos objetos entre más objetos, marcamos referenciales); (*O*, *S*) = *fenómenos* (cuando los objetos se aparecen a los sujetos, se muestran como fenómenos); (*O*, σ) = *esencias* (cuando los objetos se estructuran mediante signos, construimos esencias). Y en el eje pragmático: (*S*, *O*) = *dialogismos* (las relaciones entre sujetos mediante objetos dan lugar a los dialogismos); (*S*, *S*) = *autologismos* (las relaciones del sujeto con el sujeto nos ponen en el horizonte de los autologismos); (*S*, σ) = *normas* (las relaciones entre sujetos mediante signos están fuertemente reglamentadas, son las normas). La Tabla 4 anteriormente reproducida recoge este sistema de coordenadas.

A continuación, describimos cada figura gnoseológica por separado en pocas pinceladas, comenzando por las sintácticas, siguiendo por las semánticas y terminando por las pragmáticas, de cara a obtener una fotografía de cuerpo entero de la mecánica cuántica:

Mecánica cuántica	
Eje sintáctico	
Términos	«electrones, fotones, partículas α, funciones de onda»
Operaciones	«observaciones, mediciones, operadores de onda»
Relaciones	«ecuación de Schrödinger, relaciones de Heisenberg»
Eje semántico	
Referenciales	«aceleradores de partículas, cámaras de niebla, espectrómetros»
Fenómenos	«rayos y radiaciones, rayas espectrales»
Esencias	«modelos atómicos y nucleares, espectros atómicos»
Eje pragmático	
Normas	«reglas de las cantidades cuánticas»
Autologismos	«heurística de la observabilidad y de la intuitividad»
Dialogismos	«colaboración Heisenberg-Born-Jordan, labor de Schrödinger»

Tabla 8

- Términos: *electrones, fotones, partículas α, funciones de onda...*

Los términos de la física cuántica son los «ladrillos» con que los físicos cuánticos trabajan. Por ejemplo: los electrones, los fotones, las partículas α, los protones, los neutrones, &c. Las funciones de onda son la contrapartida sintáctica de estas partículas cuánticas. En mecánica cuántica, a cada sistema cuántico se le asocia una función de onda encargada de describir el estado del sistema. Ahora bien, no hay que desconectar semánticamente la función de onda, porque los términos son antes objetuales que proposicionales. De lo contrario, no habremos avanzado nada y seguiremos presos del mentalismo. La mecánica cuántica no trata de funciones de onda sino de partículas atómicas (cuyas expresiones, dentro del formalismo cuántico, son esas funciones). En consonancia con esto, la física cuántica no tiene un objeto único sino un campo de objetos poblado de múltiples términos.

- Operaciones: *observaciones, mediciones, operadores de onda...*

Las operaciones realizadas por los físicos cuánticos dentro del laboratorio, encaminadas a observar cierta radiación o a medir la posición o el momento de cierta partícula, reciben una contrapartida sintáctica muy concreta: son los operadores de onda. A cada observable (por ejemplo, la velocidad de un electrón) se le asocia un operador, que a su vez lleva aparejado unas operaciones manuales del físico para medirlo.

- Relaciones: *ecuación de Schrödinger, relaciones de Heisenberg...*

Los términos cuánticos, mediante las operaciones, se engarzan unos con otros hasta determinar relaciones, como puedan ser la ecuación de ondas de Schrödinger o las relaciones de imprecisión de Heisenberg[30]. La ecuación de Schrödinger establece cómo evoluciona, mientras no sea perturbada, la función de onda de cada sistema cuántico. Por su

30 Preferimos «imprecisión» a «incertidumbre» (que resulta demasiado subjetivo) o a «indeterminación» (que olvida –dando la vuelta a Espinoza– que *omnis negatio determinatio est*, es decir, que los límites que marca el principio de Heisenberg ya están determinando virtualmente a las partículas al encauzar sus valores de posición y momento).

parte, las relaciones de Heisenberg establecen que toda doble medición está sometida a ciertas condiciones: es imposible medir simultáneamente y con cuanta exactitud queramos la posición y la velocidad (esto es, las coordenadas y el impulso) de una partícula cuántica, incluso si se poseen instrumentos de medida suficientemente delicados. Por ejemplo, si localizamos un electrón, que posee un tamaño del orden de 10^{-15} m, en una caja unidimensional (intervalo) de $5 \cdot 10^{-12}$ m entonces la imprecisión que afecta a la velocidad de tal electrón es del orden de 10^{+7} m/s, verdaderamente extraordinaria si tenemos en cuenta que la velocidad de la luz en el vacío es de $3 \cdot 10^{8}$ m/s.

- Referenciales: *aceleradores de partículas, cámaras de niebla, espectrómetros...*

Si dentro del eje sintáctico hay términos, relaciones y operaciones, dentro del eje semántico nos encontramos referenciales, fenómenos y esencias. Los físicos cuánticos, como los físicos clásicos, precisan de referenciales fisicalistas que poder «agarrar» para operar. La necesidad de referenciales fisicalistas para el desarrollo de la física cuántica no la derivamos tanto de postulados ontológicos cuanto de principios estrictamente gnoseológicos: la física cuántica es una construcción operatoria y las operaciones sólo son posibles con objetos que pueden ser agarrados. Ahora bien, si hay que agarrarlos, los referenciales cuánticos tienen que venir dados a escala corporal, lo que descarta a las partículas cuánticas de nuestra lista de candidatos. A nuestro entender, la función de referenciales de la mecánica cuántica la cumplen holgadamente los aparatos de los físicos cuánticos, a saber: aceleradores de partículas, ciclotrones, cámaras de niebla, cámaras de burbujas, cámaras de chispas, espectrómetros, espectrógrafos, contadores Geiger-Müller, dosímetros, escintiladores, generadores de Van de Graaff, carretes de Ruhmkorff, mecheros Bunsen, preparados radiactivos, placas y emulsiones fotográficas...

- Fenómenos: *rayos y radiaciones, rayas espectrales...*

Los fenómenos cuánticos son esas colecciones de hechos observables que precisan ser explicados. Por ejemplo: los rayos (catódicos,

anódicos, X), las radiaciones (radiación del cuerpo negro) y las rayas espectrales de cada elemento atómico. La teoría del cierre habla de fenómenos en su acepción helénica, no en su acepción alemana. Los fenómenos son configuraciones observables por varios sujetos, no sólo por uno («¡acudan a ver el prodigioso *fenómeno* de la licuación de la sangre de San Genaro!»). Además, desde la teoría del cierre, no se trata de *salvar* los fenómenos, como quería Duhem, sino de *resolverlos*, como decía Hume. Es decir, hay que incorporarlos dentro de alguna estructura esencial. Tras los fenómenos no hay noúmenos escondidos, sino esencias o estructuras.

- Esencias: *modelos atómicos y nucleares, espectros...*

La física cuántica construye estructuras esenciales a partir de los fenómenos. Por ejemplo, los modelos atómicos y nucleares a partir de los experimentos con colisiones de partículas. Otro ejemplo son las reconstrucciones de espectros, esto es, las explicaciones de las tablas de datos recogidas en la investigación experimental de las rayas espectrales. Ahora bien, también los átomos y las partículas cuánticas constituyen esencias, en cuanto son estructuras determinadas a partir de los fenómenos. Sin embargo, esto no quiere decir que no sean tan reales como los propios cuerpos referenciales. No hay paradoja. Son –como veremos– hiperrealidades, independientes de los sujetos, pero resultado de la ampliación del mundo por parte de los físicos cuánticos (descubrimiento del electrón, del positrón...)[31].

- Normas: *reglas de las cantidades cuánticas...*

En el eje pragmático hay normas, autologismos y dialogismos. Estas normas van desde las leyes de la lógica (principio de no-contradicción) y las reglas matemáticas elementales (por poner un ejemplo, no

31 Nos encontramos aquí, sin embargo, con la cuestión de la materialidad de los objetos cuánticos, que no es baladí: en cuanto no son referenciales sino esencias, la materialidad de las partículas cuánticas ha de ser terciaria y no primaria; pero es cierto que esto resulta cuanto menos sorprendente. Una posible solución es, se nos ocurre, recordar que los géneros de materialidad no pueden hipostasiarse, porque todos están en sinexión con todos, es decir, las esencias terciogenéricas están ensortijadas o entreveradas con los cuerpos primogenéricos, y esto nos autorizaría a concebir las hiperrealidades cuánticas con la misma dureza ontológica que las realidades corporales.

equivocarse en los cálculos) a los preceptos morales (la mal llamada «ética» del científico), pasando por lo que llamamos reglas de las cantidades cuánticas. Es decir, las normas de manipulación heredadas de la teoría cuántica antigua. Un ejemplo: la física clásica debe presentarse como caso límite intuitivo de la nueva microfísica fundamentalmente no intuitiva, esto es, la mecánica clásica como caso límite de la mecánica cuántica (principio de correspondencia de Bohr).

- Autologismos: *heurística de la observabilidad y de la intuitividad...*

Autologismos son aquellas figuras gnoseológicas que nos hablan de la relación de cada físico con su área de investigación. Los autologismos representan la inserción de la actividad psicológica en el proceso de construcción científica. También son autologismos los propios recuerdos de la labor científica. La «heurística de la observabilidad» fue la filosofía que, personalmente, implementó Heisenberg en su mecánica de matrices. Hasta 1925, las reglas formales empleadas para calcular –digamos, por ejemplo, la energía del átomo de hidrógeno– implicaban relaciones entre cantidades no observables (posición o periodo de revolución del electrón). En 1925, Heisenberg pretendió establecer una mecánica que únicamente envolviese relaciones entre cantidades observables. Por su parte, la «heurística de la intuitividad» fue plasmada por Schrödinger en su mecánica de ondas de 1926, buscando dotar de contenido intuitivo a la teoría cuántica.

- Dialogismos: *colaboración Heisenberg-Born-Jordan, labor de Schrödinger...*

Dialogismos son aquellas figuras gnoseológicas consistentes en las relaciones instituidas entre físicos. Los dialogismos representan la interacción entre distintos sujetos gnoseológicos. Dos ejemplos: el trabajo en colaboración de Heisenberg, Born y Jordan en la fundación de la mecánica de matrices, así como la acogida que tuvo la mecánica de Schrödinger en la comunidad internacional de físicos.

Capítulo 14
Gnoseología sintética de la física

1. Imprimamos ahora movimiento al espacio gnoseológico, pasando de una imagen estática –un fotograma– a una sucesión dinámica de imágenes –una película–, descongelando la imagen... Los mecanismos que desencadenan las operaciones del físico ponen al descubierto distintas anomalías o particularidades propias del campo cuántico. Son los *principios* y los *contextos determinantes*.

2. Desde los ejes sintáctico y pragmático, aparecen los principios de la física cuántica. Cuando la teoría del cierre categorial se refiere a los principios de las ciencias lo hace en un sentido más cercano a la química que a la lógica. Los principios no son sólo las leyes que condicionan las operaciones físicas, sino también los factores que están «al principio» de esas operaciones, en calidad de materiales. Son principios «activos» de la física cuántica las propias partículas y radiaciones que manipulan los físicos en el laboratorio. Y en un orden más pragmático que sintáctico, son principios los preceptos metodológicos. No obstante, conviene aclarar que los principios físicos suelen ser el fruto del seguimiento de los cursos de construcción científica, es decir, su hallazgo suele ser posterior al establecimiento de resultados.

3. Por su parte, desde el eje semántico se ponen de relieve los *contextos determinantes* involucrados en las operaciones de los físicos cuánticos. La teoría del cierre categorial llama contextos determinantes a las armaduras materiales que posibilitan las construcciones

científicas. En física cuántica la función de contextos determinantes la cumplen sobradamente los aparatos cuánticos. Estos aparatos constituyen las armaduras experimentales a través de las cuales la teoría cuántica se convierte en mecánica o en física. Los aparatos funcionan, por así decir, como colimadores. A la manera en que la lente de un colimador dispone los rayos de luz de un haz divergente en paralelo, de un modo pautado, los aparatos condensan, normalizan y protocolarizan los fenómenos a fin de posibilitar su análisis (Bueno: 1990, 20-21). Gran parte del secreto de la efectividad de la ciencia descansa en que las máquinas que construyen los científicos acotan la situación hasta el punto de que todas las variables relevantes son conocidas y puede predecirse el funcionamiento de la máquina y de los objetos sometidos a estudio (Wigner: 1960, 5).

Las teorías circularistas de la ciencia han puesto de relieve la importancia gnoseológica de los aparatos. Pero, ¿cuál es su estatuto ontológico en la física cuántica? A resultas de lo dicho, los aparatos cuánticos tienen reservado un lugar muy especial en la teoría del cierre: son las «cajas de las esencias cuánticas»; puesto que es dentro de ellos donde los físicos manipulan las *esencias cuánticas*, es decir, los electrones, las partículas alfa, &c. De hecho, es gracias a los aparatos que los físicos han descubierto las partículas elementales: el descubrimiento del electrón, sin ir más lejos, es indisociable del tubo de rayos catódicos. Los aparatos capturan la agencia material de la física de partículas al funcionar como cajas o frascos de estas esencias (hiperrealidades).

Ahora bien, ¿cómo clasificar los aparatos cuánticos? Galison (1997) propone una clasificación bimembre, que apela a criterios semánticos y pragmáticos. Dentro de la física cuántica, habría dos culturas materiales distintas. Una estaría relacionada con una tradición experimental más visual, que emplea detectores como cámaras de niebla o de burbujas en su trato con las partículas. Y la otra conectaría con una tradición experimental más lógica, que prefiere usar detectores electrónicos como contadores Geiger o escintiladores. En cambio, nosotros vamos a proponer una clasificación trimembre, de acuerdo al carácter sintáctico que muestre el aparato en cuestión, siguiendo una idea de Bueno (1992). De igual manera que desde un punto de vista sintáctico los objetos lógico-matemáticos se clasifican en términos,

funciones o relaciones, los aparatos pueden clasificarse en términos, operadores o relatores. Así, por ejemplo, una pesa de 1 kilogramo funciona como un *término*. Un microscopio no es, entonces, una prolongación auxiliar del ojo, cuanto un *operador* objetivo que transforma configuraciones microcósmicas en configuraciones mesocósmicas. Y una balanza no es un instrumento de comparación al servicio del sujeto, sino un *relator* interpuesto él mismo entre contenidos del campo. Por consiguiente:

a) Términos. Serían aparatos que funcionan como *términos* en física cuántica las muestras radiactivas, el agua pesada, los materiales de centelleo y fulguración, las emulsiones fotográficas para trazas o huellas e, incluso, los globos sonda o los generadores electrostáticos de Van der Graaff, que son parte de otros dispositivos o aparatos más grandes.

b) Operadores. Serían *operadores* tanto los aparatos clásicos para manipular partículas (los tubos de Geissler, de Coolidge, de rayos catódicos...) como los modernos aceleradores de partículas. Los famosos aceleradores lineales y circulares –ciclotrones–, construidos respectivamente por Cockcroft y Walton en 1930 y por Lawrence en 1932, consisten en conductos o anillos, de varios kilómetros de longitud, donde las partículas se aceleran, bajo la acción de campos electromagnéticos, hasta velocidades cercanas a la de la luz, para luego hacerlas golpear diversos blancos, como placas de plomo u otras partículas (por ejemplo, un chorro de electrones contra un chorro de positrones). A partir de los años 50, el sistema acelerador-blanco-detector se vio notablemente mejorado al quedar capacitado para producir altísimas energías. Son los cosmotrones (Brookhaven), bevatrones (Berkeley) y tevatrones (Fermilab), hasta llegar al nuevo Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN, conocido hiperbólicamente como la «máquina del *Big Bang*».

c) Relatores. Distinguimos cuatro tipos de aparatos cuánticos encaminados a producir relaciones medibles. En primer lugar, los espectroscopios y espectrómetros, surgidos a finales del XIX de la composición de tubos de descarga, prismas y placas fotográficas que registran los espectros atómicos. En segundo lugar, los espectrógrafos de masas, debidos a Francis Aston en 1919, y que son cámaras selladas en que se introducen átomos que, tras ionizarlos y someterlos a un campo magnético que los obliga a desplazarse en trayectorias curvas, se separan a consecuencia de la distinta inercia, que depende de sus masas diferentes, lo que permite separar los isótopos de un elemento. En tercer lugar, los registradores de

trazas: las cámaras de niebla (Wilson), las cámaras de burbujas (Glaser) y las cámaras de chispas (Keiffel). Las cámaras de niebla, inventadas por Charles Thomson Rees Wilson en 1911, no son sino un recipiente con gas saturado de humedad que, al ponerse en contacto con una sustancia radioactiva que emite partículas, permite determinar sus trayectorias siguiendo la estela de diminutas gotitas de agua condensadas que dejan al pasar (el vapor condensa alrededor de la partícula viajera). El estudio de la forma, la longitud, la anchura y la curvatura ante campos de las trazas permite extraer mucha información (por ejemplo, los electrones determinan líneas tenues por su poca masa pero largas por su gran velocidad, mientras que los rastros que dejan los protones son más gruesos y cortos). Hacia 1953, Donald Arthur Glaser mejoró la cámara de Wilson construyendo la cámara de burbujas (que, en lugar de aire cargado de humedad, contiene hidrógeno líquido a punto de entrar en ebullición, lo que deja un rastro de burbujas en vez de gotas). También hay cámaras de ionización o de chispas que contienen gases cuyos átomos se ionizan al paso de las partículas. Y, por último, en cuarto lugar, los contadores: tanto los contadores por descarga (Geiger-Müller) como los contadores por centelleo (Curron-Baker). Por ejemplo, un contador Geiger consiste en un tubo dotado de un intenso campo eléctrico de manera que cada partícula que penetra da lugar a un impulso que queda registrado (Borovói: 1985).

4. Tras recolectarlos del espacio gnoseológico, ya tenemos identificados los principios (electrones, partículas α...) y los contextos determinantes (aceleradores de partículas, cámaras de burbujas...) de la física cuántica, pero: ¿qué quieren construir los físicos con ellos? *Verdades*, es decir, *teoremas*. Los teoremas científicos son las relaciones entre los principios, determinadas en los contextos determinantes, que permanecen invariantes por las operaciones de los sujetos gnoseológicos dentro de su campo. En nuestro caso, los teoremas físico-cuánticos van a ser las relaciones estables entre las partículas determinadas por los físicos empleando el equipo de aparatos del laboratorio. Obviamente, los procesos operatorios siguen diversos caminos hacia la construcción de las configuraciones objetivas que son los teoremas. Son los cuatro *modos de las ciencias*: *definiciones*, *demostraciones*, *modelos* y *clasificaciones*. Un ejemplo de teorema de la física cuántica bajo el modo científico de la definición son los descubrimientos de las partículas cuánticas: electrón (Thomson, 1897), protón (Rutherford, 1918), neutrón (Chadwick, 1932), positrón (Anderson, 1932)... Un teorema cuántico

bajo el modo de demostración es la deducción del espectro energético del átomo de hidrógeno desde la mecánica cuántica de matrices (Pauli, 1925) o desde la mecánica cuántica de ondas (Schrödinger, 1926). Ejemplos de modelos son los modelos atómicos de Thomson (1904), de Rutherford (1911), de Bohr (1913), de Bohr-Sommerfeld (1918) y el de la teoría orbital (1927). Por último, un ejemplo de teorema cuántico bajo el modo de la clasificación es el sistema periódico de los elementos (Mendeléiev, 1871) reordenado empleando el número atómico (número de electrones del átomo) y la distribución electrónica (disposición de los electrones en orbitales –ya no órbitas– de menor a mayor energía respetando el principio de exclusión de Pauli y la regla de Hund) en vez de la masa atómica (lo que eliminaba las excepciones del cobalto y el níquel), tal y como lo reconstruyeron Henry Moseley en 1914, Bohr en 1921 y Pauli en 1923 (tabla periódica cuántica), sin olvidar los fértiles trabajos de Linus Pauling (que pasa por ser el Einstein de la química... cuántica).

Capítulo 15
El cierre de la física

1. Los teoremas son las células del cuerpo científico. Pero, ¿qué clase de verdad encierran los teoremas de la física cuántica y, en general, de la física? Para responder, la teoría del cierre categorial recurre a la teoría materialista de la verdad científica como identidad sintética. Esta teoría de la verdad se encuentra en las antípodas de la metafísica teoría de la verdad como adecuación. Al igual que Putnam, Gustavo Bueno (1995, 33) denuncia el misterioso modo en que sus partidarios dicen que se adecúan las teorías y los hechos: «el adecuacionismo sólo tiene sentido en el supuesto de que la materia tenga una estructura previa isomórfica, pero ¿cómo podríamos conocer científicamente tal estructura de la materia al margen de las propias formas científicas?». No existen los hechos en bruto, porque todo hecho se colorea de teoría al ser observado. Como ejemplo basta recordar el experimento de Michelson-Morley, que fue interpretado de tres maneras completamente diferentes por Michelson, Lorentz y Einstein, pese a tratarse supuestamente de un único hecho registrado sobre un interferómetro. Recíprocamente, toda teoría se colorea de hechos al ser formulada, porque las fórmulas presuponen los aparatos y las operaciones de los físicos. Bueno opone la idea de «identidad» a la idea de «adecuación»; porque la primera remite a una identificación entre entidades de una misma clase (entre los materiales de una ciencia), mientras que la segunda remite a una correspondencia –otros dirán

isomorfismo, similitud o analogía– entre entidades pertenecientes a clases no sólo diferentes sino también disyuntas (entre las teorías y los hechos). Más aún, al igual que Quine, Gustavo Bueno (1992, 1428) adopta una posición radical ante el dogma empirista de la distinción analítico/sintético: todo juicio es sintético y los juicios analíticos sólo existen intencionalmente como límite de una sucesión de juicios sintéticos. Bueno, como Kant, emplea el calificativo «sintético» en un sentido más próximo a la química que a la lógica: toda identidad, por el mero hecho de serlo, es sintética.

Por consiguiente, si la ciencia es construcción con determinados materiales, la verdad científica ha de consistir –por contraste con la verdad como adecuación– en una determinación *inmanente* a esa construcción, pero no en cuanto esa construcción es teórica sino práctica, *material*: «a la manera –aduce Bueno (1992, 146)– como la *verdad* de una máquina –podríamos decir: la característica de una *máquina verdadera*, frente a una máquina fingida, pintada o de ficción–, consiste en que ella *funcione*». Las verdades que construyen las ciencias nos enseñan qué es tener control de regiones de la realidad y qué es no tenerlo (en el momento de clonar una oveja, lanzar una sonda hacia un cometa o explotar una bomba atómica): «La ciencia moderna –razona Bueno (1992, 39)– nos enseña qué significa poseer la verdad de la conexión entre cosas (*verum est factum*) y qué significa no poseerla, andar a ciegas o por tanteo». No en vano, Lenin definió alguna vez su revolución como «electricidad más soviets». Las ciencias no nos desvelan cómo es el mundo, sino que lo *hacen*, pues las ciencias no son despliegues de proposiciones sino de objetos, y las verdades científicas no son sino el resultado final de esa serie de actividades constructivas: «identidades sintéticas», relaciones entre partes de la realidad que se ponen en conexión por el sujeto operatorio pero que alcanzan cierto grado de objetividad al margen de su génesis.

2. Las verdades o identidades sintéticas de la física cuántica no son, pues, extrínsecas al campo de esa ciencia; porque, aunque estén formuladas mediante proposiciones, se construyen y resultan de las operaciones de los físicos cuánticos con los materiales –partículas, núcleos, átomos, aparatos– característicos de esa ciencia. Estas verdades e identidades sintéticas proceden inexorablemente –como enseguida

pondremos de manifiesto mediante ejemplos– por operaciones quirúrgicas (manuales). Desde el punto de vista del antropólogo, el físico está –como el músico– manipulando cosas, al tiempo que emite palabras o consulta libros y artículos, dentro del laboratorio. La física cuántica no es tanto cosa de libros (de *saber*) cuanto de laboratorios (de *hacer*). Es un *saber hacer*, cuyo fundamento está en su propio proceso de funcionamiento. La teoría del cierre considera la física cuántica como una construcción con las cosas mismas, con los objetos cuánticos, cuya verdad consiste en un ejercicio *encarnado* en la realidad antes que en una representación de esa realidad. A resultas de esto, la física cuántica deja de ser una ciencia lejana, casi metafísica, que sólo se ocupa de formalismos e interpretaciones altamente especulativos, para convertirse en la ciencia física que se ocupa de los espectros atómicos, las radiaciones, las bombas nucleares, los láseres, los superconductores...

Pero, entonces, ¿qué clase de racionalidad se plasma en el hacerse de la física cuántica? Se han aportado dos tipos de propuestas: las de naturaleza subjetualista o *mentalista* y las de naturaleza objetualista o *materialista*. En el primer tipo se encuadran todas aquéllas que identifican la racionalidad científica con el *logos*. La razón científica es, entonces, una facultad intelectual que se refleja especialmente en el lenguaje científico. Queda así instituida una idea de racionalidad científica muy próxima a la racionalidad metafísica que se atribuye a las sociedades angélicas. Pero, como apunta Bueno (1995, 39), «la racionalidad efectiva es la racionalidad humana, propia de los sujetos corpóreos, dotados no sólo de laringe o de oído, sino de manos, de conducta operatoria, una conducta que implica la intervención de los músculos estriados».[32] Irrevocablemente, esto nos conduce al segundo tipo de propuestas, que amplían el ámbito de la racionalidad científica a las acciones materializadas por los científicos como sujetos operatorios. Es la racionalidad operatoria. Veamos, como dirían los escolásticos, dos ejemplos «tumbantes».

32 Más aún: «si me encuentro delante de un individuo en el mismo momento en el que se dispone a asestar una puñalada a un tercero, lo “racional” no será dirigirle una interpelación filosófica sobre la naturaleza del homicidio, sobre su ética o su estética, sino dar un empujón violento al agresor a fin de desviar su puñal de la trayectoria iniciada y que suponemos fatal de no ser interrumpida» (Bueno: 1995, 40).

En la imagen de la física cuántica de la filosofía tradicional de la ciencia (adecuacionista, descripcionista, teoreticista), todo está subordinado a la teoría. La actividad científica por excelencia es la especulación teórica, y los experimentos sólo se diseñan para verificar o falsar teorías. Pero, así como la teoría es un factor en el diseño experimental, la práctica experimental interviene en la construcción de teorías. No sólo para contrastarlas, sino también para, tomando prestada una metáfora debida a Van Fraassen (1996, 99), llenar los espacios en blanco de las teorías. Muchas veces las teorías se escriben por medio de los aparatos experimentales. Basta recordar el experimento de la gota de aceite de Millikan para medir la carga del electrón. Hacia 1909, Robert Millikan construyó un aparato que constaba de un atomizador que soltaba una lluvia de diminutas gotas de aceite que, tras ser ionizadas, se dejaban suspendidas en el aire de una cámara compensando la fuerza gravitatoria que las atraía hacia abajo con una fuerza eléctrica que tiraba de ellas hacia arriba. Jugando con el peso de las gotitas y las baterías eléctricas, Millikan logró dejar flotando muchísimas gotitas, es decir, consiguió igualar ambas fuerzas en muchas situaciones. Esto es, simplificando mucho: $m \cdot g = q \cdot E$ (donde m es la masa de cada gotita, g la gravedad, q la carga de cada gotita y E el campo eléctrico); en donde la única incógnita es la carga de la gotita q, que se supone múltiplo de la carga eléctrica fundamental. Repitiendo muchas veces el experimento, Millikan concluyó que todas las gotas de aceite tenían una carga eléctrica múltiplo de un número muy pequeño: la carga del electrón. Ni una sola vez entre dos mil observó un cambio en la carga que no fuera múltiplo de esa cantidad muy pequeña pero definida e invariable.

Otra ilustración de que la física atómica es una construcción con las cosas mismas, dotada de racionalidad operatoria, nos la suministra la labor científica de Ernest Rutherford. En torno a 1910, este físico neozelandés, Premio Nobel de Química, disponía de un magnífico laboratorio en Manchester, que recordaba al taller de un electricista de barrio y que siempre estaba envuelto en el espeso humo de los grandes puros que fumaba. Junto a dos aventajados aprendices, Geiger y Marsden, estaba dedicado a bombardear finas láminas de oro o platino con un haz de partículas alfa. La elección de metales tan caros no era casualidad: Rutherford, como los artesanos orfebres, sabía que sólo

estos metales pueden cortarse delgadísimamente. La gran mayoría de partículas alfa (que son átomos de helio doblemente ionizados, muy masivos y rápidos) atravesaban la lámina y salían dispersadas con un pequeño ángulo de inclinación. Pero una cantidad no despreciable de ellas (en promedio, una de cada ocho mil) rebotaban frontalmente y salían despedidas hacia atrás. Según sus propias palabras, «era como si se disparara un obús naval de buen calibre sobre una hoja de papel y saliera rebotado». Enseguida, Rutherford concluyó que este fenómeno tenía que ser consecuencia de la colisión de la partícula alfa (de carga positiva) con algo también muy masivo y cargado positivamente (para que hubiera repulsión). Esto certificó la existencia de un núcleo atómico y llevó a Rutherford a la construcción de su modelo de átomo. El modelo de *chirimoya* de Thomson (el átomo como una esfera con cargas eléctricas positivas y negativas uniformemente repartidas) quedó superado por el modelo atómico *planetario* de Rutherford. El átomo de Rutherford constaba de un núcleo (concentrado, cargado positivamente y en que estaban confinados los protones) y de una corteza (amplia, en que orbitaban los diminutos electrones). Además, con esta práctica experimental, que usaba la partícula alfa como sonda con la que obtener información, la teoría atómica de Vaihinger (que decía que, a pesar de no haber átomos ni cosas por el estilo, el mundo observable se comporta justo *como si* los hubiera) quedaba en ridículo.

Desde nuestra óptica, Millikan y Rutherford ilustran la fértil dialéctica entre teoría y experimentación, entre forma y materia. Ambas aparecen conjugadas y tanto puede decirse que la experimentación es la continuación de la teoría por otros medios como, recíprocamente, que la teoría es la continuación de la experimentación por otros medios. Hay una circularidad no viciosa que conduce al establecimiento de verdades, de identidades sintéticas, en las que la racionalidad científica no es silogística sino fundamentalmente operatoria.

3. Si presuponemos la concepción constructivista del conocimiento científico de la teoría del cierre categorial, según la cual la actividad cognoscitiva del físico es constitutiva de los objetos cuánticos, las verdades físico-cuánticas aparecerán cuando dos o más cursos operatorios independientes intersecten según una relación de *identidad*. Esta identidad será, naturalmente, *sintética*, por cuanto es, por construcción, material y se origina a partir de series de operaciones

independientes entre sí. Los teoremas de la física cuántica son, por tanto, relaciones de identidad sintética, entre términos físicos, construidas mediante las operaciones de los físicos. La verdad física es antes un ejercicio (*actu exercito*) que una representación (*actu signato*), consistente en la confluencia de diversos cursos operatorios que *cierran* bien. Bueno (1972, 429) lo expresaba claramente: «La verdad queda así desplazada a relaciones entre objetos, a través de signos sin duda, pero no a relaciones entre signos, o a relaciones de signos con objetos o recíprocamente». La verdad deja de definirse por la correspondencia de la teoría con el mundo o por la coherencia con el resto de la teoría para hacerlo a través de la identidad entre cursos operatorios diferentes dentro del campo científico en cuestión. Esta teoría de la verdad es ajena a cualquier exigencia de correspondencia y pone el significado de la verdad en la construcción de identidades, en el ensamblaje entre partes de un campo material conformado a escala humana por siglos de prácticas y técnicas.

Además, la concordancia exigida en las ciencias experimentales entre la predicción y el hecho puede reducirse cómodamente al esquema de la identidad sintética: la verificación es la intersección, según una identidad (sintética), entre la serie de operaciones encaminadas a formular la predicción y la serie de operaciones dirigidas a constatar el hecho. Por otra parte, la «consiliencia», un término que forma parte del vocabulario de la filosofía de la ciencia y remite a la capacidad de una teoría para recibir apoyo y unir evidencias provenientes de diversos campos, obviamente también puede reducirse al esquema de la identidad sintética. En el aforismo XIV del *Novum Organum Renovatum* (1858), William Whewell acuñó la palabra «consiliencia» (literalmente, en latín, «saltar juntos») para referirse a la concurrencia o concordancia entre dos o más inducciones obtenidas a partir de clases diferentes de hechos, y añadió que era una prueba de la verdad de una hipótesis cuando acaecía. Algunos epistemólogos, como Thomas Nickles, subrayan que es la base de la robustez de la ciencia, porque el trabajo científico es un asunto entrelazado, como los cordones de una bota, donde los científicos frecuentemente vuelven sobre sus pasos, modificando el aspecto de los resultados iniciales y relacionándolos con otros. Mientras que la mayoría de historiadores de la ciencia sólo se fijan en la primera vez que se estableció un resultado, como si fuera

para siempre, la ciencia no transcurre según un modelo de paso único sino según un modelo circularista: constantemente se remodelan y reconstruyen los resultados, los aparatos y la fenomenología (incluso los libros de texto participan de esta reconstrucción continua en que consiste la actividad científica).

Pongamos una primera ilustración de una verdad como síntesis de una identidad. Un físico teórico, que compara en su escritorio las ecuaciones de la teoría con las gráficas o las estadísticas que le ha proporcionado el físico experimental, no está en contacto directo con la naturaleza (como tampoco lo está el físico experimental, pues su medio ambiente –el laboratorio– se encuentra plagado de aparatos e instrumentos artificiales, así como en una condición de aislamiento que nunca se da *ahí fuera*). Ambos operan en una realidad trabajada por las técnicas y las tecnologías. Pero por ello mismo son capaces de determinar identidades sintéticas. Cuando el curso operatorio experimental consistente en disponer sobre un sistema de ejes coordenados, cuyo eje de abscisas corresponde a los números másicos A de los diferentes núcleos atómicos (donde $A = N + Z$, es decir, el número de nucleones de un átomo es igual al número de neutrones más el número de protones) y cuyo eje de ordenadas corresponde a los valores de las diferentes energías de enlace por nucleón, los datos experimentales, que forman una serie de puntos discretos, confluye con el curso operatorio teórico consistente en deducir una curva continua para la energía a partir del modelo nuclear de gota líquida, nos encontramos ante una identidad sintética. En efecto, si la serie discreta de puntos y la curva continua coinciden, se identifican, sin desviaciones significativas, podemos decir que se ha construido una identidad sintética, una verdad científica (aunque en este caso –como bien saben los físicos atómicos– existen ciertas discrepancias para los núcleos con números mágicos) (Rivadulla: 2015, 42-44).

Un ejemplo paradigmático de construcción de una verdad científica como identidad sintética nos lo proporcionan Latour & Woolgar (1995, cap. 3). Los biólogos moleculares del laboratorio estaban investigando la estructura química de la hormona liberadora de tirotropina (TRH). El teorema que estableció que TRH era (Pyro-)Glu-His-Pro-NH_2 cobró forma como una confluencia entre dos cursos operatorios independientes. Por un lado, se extrajo la hormona del cerebro de más de un millón de animales. Lo que precisó de machacar, triturar, analizar y purificar

fragmentos del hipotálamo de cerdos, ovejas y ratas, a fin de conseguir unos cuantos miligramos del factor liberador. Por otro lado, se sintetizaron artificialmente una serie de péptidos a base de aminoácidos. Finalmente, ambos cursos operatorios confluyeron cuando se demostró, mediante ese contexto determinante que es el cromatógrafo, que la hormona liberadora era idéntica a uno de los péptidos sintetizados, porque los picos de la gráfica daban en los mismos compuestos para las dos substancias. Es más, el espectrómetro de masas ofreció dos espectros que nadie del área consideró significativamente diferentes. Fue «el primer caso en que se determinó la estructura de un producto natural basándose en su similaridad con un producto sintético» (1995, 166). Los investigadores del campo dejaron de decir que la TRH tenía un espectro semejante a (Pyro-)Glu-His-Pro-NH_2 o que era parecida al compuesto sintético (Pyro-)Glu-His-Pro-NH_2, para afirmar que TRH era exactamente (Pyro-)Glu-His-Pro-NH_2.

Un tercer ejemplo, inserto en el campo de la física cuántica, nos lo ofrece el teorema del átomo de Bohr (el primer modelo atómico cuantizado, de 1913), donde no sólo confluyeron una serie de fórmulas fenomenológicas, sino distintos cursos operatorios representados por esas fórmulas. Cabe enumerar al menos cuatro: (i) el curso propio de la mecánica clásica, que permitía calcular la fuerza centrífuga que afecta al electrón basándose en el modelo atómico planetario; (ii) el curso del electromagnetismo, que posibilitaba calcular la fuerza atractiva que experimenta el electrón por la presencia del núcleo atómico; (iii) el curso de la teoría cuántica, que tomó su origen con la radiación del cuerpo negro y la introducción de la constante de Planck, que Bohr empleó para cuantizar las órbitas electrónicas y hacer estable el átomo de Rutherford; y (iv) el curso de la espectrometría, presente en la derivación teórica de la fórmula empírica de Balmer para describir las frecuencias de la luz que emitía el gas de hidrógeno y en la medición experimental de la constante de Rydberg (Bueno: 1982, 149). Análogamente, podemos ver otra identidad sintética en la determinación del valor de la constante *h* de Planck o «cuanto de acción» por diversos métodos: mediante el ajuste para explicar la radiación del cuerpo negro, a partir del estudio del efecto fotoeléctrico, de la producción de rayos X o del efecto Compton. Aquí volvemos a encontrarnos con diversos caminos que confluyen a posteriori generando la red o el entramado de relaciones

característico de las ciencias. Para Millikan eran estas confluencias las que «materializan, por así decirlo, la cantidad *h*» (Ferrero: 2000, 471).

Una última ilustración a trazo más grueso es la siguiente. La mecánica cuántica diseñada por John von Neumann en 1932 fue el marco matemático que permitió unificar la mecánica matricial de Heisenberg (1925) y la mecánica ondulatoria de Schrödinger (1926), y en él o en la formulación debida a Paul Dirac se movieron los avances posteriores en teoría cuántica. De entonces acá, la física cuántica ha vivido una multiplicación del número de fuerzas fundamentales (a las fuerzas gravitatoria y electromagnética, se unió la fuerza nuclear descompuesta en dos: fuerte y débil) y del número de partículas (los neutrinos, los quarks, la antimateria). (Esta proliferación ha intentado ser corregida, recientemente, mediante teorías tentativas que buscan la unificación, como las de cuerdas, supercuerdas o branas, a las que nos referiremos en la Parte II en relación con la cosmología.) También hay que destacar el soberbio desarrollo, a finales de la década de los cuarenta, de la electrodinámica cuántica (QED), asociada al nombre de Richard Feynman, capaz de determinar el valor del momento magnético de ese minúsculo imán que es el electrón con una precisión que llega hasta el noveno decimal (¡algo así como si midiéramos la distancia entre Nueva York y Los Ángeles con un error menor que el espesor de un cabello humano!), y que junto a la teoría electrodébil y la cromodinámica cuántica (QCD) conforma el «modelo estándar» de la física de partículas, al que ya nos hemos referido páginas atrás. Desde las coordenadas de la teoría del cierre, los progresos en física cuántica más interesantes están relacionados con el descubrimiento del neutrón a cargo de Chadwick en 1932 –el año en que Von Neumann firmó su tratado–, ya que la puerta a las reacciones nucleares en cadena quedó abierta de par en par. En efecto, los neutrones, a diferencia de las partículas α de Rutherford, no están cargados eléctricamente y, por tanto, pueden atacar los núcleos atómicos sin experimentar repulsión (Fermi). El uso de la energía nuclear era inminente. El descubrimiento de la fisión nuclear en 1939 desembocó, pasando por el Proyecto Manhattan, en las bombas de fisión de uranio y plutonio, es decir, en Hiroshima y Nagasaki (1945). La era atómica había dado inicio. Con la Guerra Fría entre los EE.UU. y la U.R.S.S., y el descubrimiento de la fusión nuclear, aumentó la dedicación a la física cuántica. No sólo para construir centrales nucleares, sino –sobre

todo– para construir una «superbomba» que aprovechara al máximo la energía liberada en la fusión de núcleos de hidrógeno, como ocurre en las estrellas. En 1952, la primera bomba H explotó, vaporizando una isla entera y poniéndose en su «punto cero» tan caliente como el Sol. Puede decirse que en ese preciso instante diversos cursos operatorios teóricos y técnicos se anudaron inextricablemente. El arco de la física cuántica se compone, insisto, de ladrillos teóricos y prácticos, y la transformación del mundo es, *de facto*, la prueba tangible de su verdad.

4. Desde la teoría del cierre categorial, toda verdad como identidad sintética admite *franjas de verdad*, ya que ella está inserta en una compleja armadura de contextos determinantes que pueden estar ejercitándose con mayor o menor precisión. Los filósofos analíticos de la ciencia tienden a predicar la verdad de las teorías científicas como un todo, pillándose los dedos. En el caso que nos ocupa, las franjas de verdad de los teoremas cuánticos responderán a la fiabilidad de los aparatos, ya que estos son el lugar de la verdad en física y funcionan como las cajas de las esencias o estructuras cuánticas. Un ejemplo: la franja de verdad del teorema que establece la carga del electrón se fue ensanchando según se fueron refinando y sofisticando los aparatos que posibilitan el experimento de la gota de aceite. En efecto, hacia 1911, Millikan calculó que la carga del electrón era de $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ culombios y su valor actual es de $1{,}60217733 \cdot 10^{-19}$ culombios.

Sin embargo, conviene recalcar que la tesis de que la verdad científica compromete, inmediatamente, a los aparatos y no al mundo o al sujeto (salvo de un modo mediato) no es inocua. Efectivamente, conlleva aparejada la aceptación de que cada ciencia trabaja una parcela de realidad acotada por el alcance y la capacidad de sus aparatos, y que es dentro de ese dominio donde son válidos los teoremas construidos por los científicos. No hay que confundir la objetividad con la validez universal. De hecho, la teoría del cierre subraya que cada grupo de leyes físicas siempre va referido a un dominio de validez, que queda determinado por la clase de fenómenos reproducibles con los aparatos accesibles y por el poder resolutivo de nuestros instrumentos de medida (que marcan límites relativos, digamos, a la masa y la velocidad de los sistemas). En consecuencia, desde las coordenadas de la teoría del cierre hacemos nuestras las palabras de Dalla Chiara

& Toraldo di Francia (2001, 99) –y, por extensión, de Cartwright (1999, 24)–:

> Decir que Einstein demostró que la teoría de Newton era *falsa* (o sólo *aproximadamente* cierta) es una gran tontería. Si al planear un automóvil, un tren o un avión alguien quisiera aplicar la relatividad general, le consideraríamos un necio. Se sabe muy bien que, en el ámbito que él está usando la teoría, la mecánica de Newton es perfectamente válida. Si en cambio nuestro ingeniero pensase en un vehículo espacial capaz de alcanzar una buena fracción de la velocidad de la luz, debería atenerse a la relatividad especial. Si luego ese vehículo quisiera observar un *quásar*, cuya luz pasara cerca de un enorme cúmulo de galaxias, también tendría que tener en cuenta la relatividad general. Del mismo modo tampoco la llegada de la mecánica cuántica falsó la teoría de Newton. Sólo precisó los límites de aplicabilidad en la dirección de las masas pequeñas. Más adecuadamente, ya que en el caso del láser, de los semiconductores y similares no se trata de masas pequeñas, diremos que precisó mejor *la clase* de fenómenos a la que se aplica.

Sólo de forma harto caprichosa puede negarse que la física clásica sigue siendo verdad para sistemas experimentales cuya velocidad no se aproxime a la de la luz o cuya masa no sea excesivamente pequeña. Hay que repensar y darle una vuelta de tuerca a aquella frase que pronunció uno de los astronautas del Apolo XI cuando la nave abandonó la órbita terrestre para dirigirse hacia la Luna: «Ahora es Newton quien nos conduce». La física relativista y la física cuántica aclararon ciertos límites de la física clásica; pero no la refutaron o falsaron, como suele decirse desde el más puro teoreticismo. Únicamente la reemplazaron dentro de la parcela de realidad que contiene aparatos como radiotelescopios, interferómetros, espectrómetros o aceleradores de partículas. Tomando prestadas palabras de Pickering (1995, 189): «Las teorías de la física clásica están asociadas al mundo vía las acciones de un cierto conjunto de máquinas; las teorías de la nueva física [relativista, cuántica] se asocian a otro conjunto disjunto». Pero la física clásica sigue viva, todavía se la trabaja y moderniza, porque permite resolver muchos problemas en una aproximación óptima (ningún científico calcula una trayectoria de balística empleando las ecuaciones de la relatividad general). Así pues, en concreto, el referente de las verdades cuánticas no es la naturaleza o el mundo como un todo, sino un dominio compuesto de múltiples materiales; y aquéllas no representan una realidad cuya morfología sea independiente, sino que ofrecen el funcionamiento que las construcciones

científicas imponen sobre las cosas. Es en este sentido en el que la teoría del cierre categorial habla de verdades racionales, apodícticas y necesarias dentro de sus propios contextos determinantes.

5. Con el paso del tiempo, las ciencias positivas van ligando los objetos de su campo, unos con otros, y construyendo identidades sintéticas. Cuando el polvo de la batalla se asienta, el cúmulo de verdades configuradas cristaliza en un «cierre categorial», es decir, en una organización inmanente del círculo de esa disciplina que propicia la reconversión de su campo en una nueva categoría y la constitución de esa disciplina como una nueva ciencia. A la manera como las *operaciones* de suma de *términos* del conjunto de los números enteros determinan – al ser «cerradas» (la suma de dos números enteros es otro número entero)– las *relaciones* del grupo de los enteros con la suma, transformando los números enteros de mero conjunto *Z* en grupo *(Z,+)*, la teoría del «cierre categorial» sugiere que las *operaciones* de los científicos con los *términos* (objetuales, proposicionales) de su campo determinan –si «cierran»– *relaciones* (teoremas, verdades) que transforman ese campo en una categoría científica. Así, la química clásica, con sus términos característicos (elementos, óxidos, ácidos, sales, bases) y sus propias operaciones (calentar, enfriar, destilar, filtrar, decantar o centrifugar), fue cerrando su campo en torno a una serie de relaciones dadas en forma de principios (el principio de conservación de la masa o ley de Lavoisier, el principio de las proporciones definidas o ley de Proust, el principio de las proporciones múltiples o ley de Dalton) y teoremas (sobre estequiometria, reacciones de oxidación-reducción, &c.). Lejos de ser una yuxtaposición de teorías y proposiciones, o una suerte de álgebra de fórmulas, la química clásica constituyó un dominio de operaciones fisicalistas, desplegadas con ayuda de diversos instrumentos, al que hoy podemos referirnos rápidamente señalando la tabla periódica y los compuestos formados por sus elementos (conviene anotar que el concepto de elemento químico, tal y como aparece en Lavoisier, era de carácter operativo, apegado a la práctica química: el último término alcanzable mediante análisis químico). Cada ciencia es, pues, una multiplicidad de objetos que, mediante operaciones por parte de los científicos, se componen unos con otros hasta configurar relaciones, verdades, que al irse anudando acotan el campo y certifican que esa disciplina es *de facto* una ciencia.

Es así que lo distintivo de las ciencias no es la predicción, la explicación, la comprensión, la representación, la descripción, la intervención, la construcción, la deducción, la inducción, la teorización o el conocimiento, que a fin de cuentas son rasgos no distintivos (hay teorías no científicas, como hay conocimiento no científico, &c.). Lo distintivo de las ciencias es ser un conjunto de teoremas o verdades que, por medio de la actuación de principios de cierre, se convierte en una categoría. Una ciencia es, pues, más que un agregado de teoremas, porque hace falta que los teoremas estén coordinados sistemáticamente unos con otros. A la manera que los principios de las operaciones –los postulados– y los principios de las relaciones –los axiomas– de Euclides polarizaron los teoremas geométricos de tradición pitagórica. O a la manera que el principio de gravitación universal de Newton unificó los fenómenos celestes y terrestres al «descubrir» la gravedad tanto detrás del movimiento de los planetas como de la caída de los graves. Según esto, la problematicidad de las ciencias humanas tendría que ver con que hay teoremas pero no hay principios de cierre que los organicen sistemáticamente (o hay múltiples, contradictorios entre sí), de forma que el cierre es más intencional que efectivo.

Hay que advertir que las disciplinas metidas en procesos de cierre categorial para dar a luz nuevas ciencias están en tensión, como ejemplificará el análisis del cierre categorial de las ciencias físicas que realizaremos en el siguiente punto. Los nuevos conceptos y artilugios son, muchas veces, precarios, incapaces de degollar la subjetividad que arrastran. Pero una cosa es segura: el cierre categorial determinará a esa disciplina como una nueva ciencia relativamente autónoma entre las otras ciencias; porque no hay Ciencia sino ciencia*s*, como no hay Categoría sino categoría*s* (en minúscula y en plural). Volteando a Aristóteles y dando la razón a Comte, Gustavo Bueno sostiene que hay tantas categorías como ciencias y no al revés. Tesis que viene impuesta por la propia realidad de las ciencias en marcha. Hay una pluralidad de círculos categoriales, porque hay una multiplicidad de ciencias. Las categorías poseen un fundamento *in re*. *A priori* no puede afirmarse que haya tres, doce o cuarenta categorías. El número de ellas queda fijado *a posteriori* por el número de ciencias positivas constituidas en cada momento histórico. En consecuencia, la unidad entre las ciencias físicas es histórica, mientras que su distinción es categórica (categorías clásicas, relativistas, cuánticas...).

Capítulo 16
Revoluciones y contrarrevoluciones en física

1. Al igual que en el caso de las matemáticas, la teoría del cierre categorial mantiene que el debate a propósito de las revoluciones científicas está desplazado en el caso de la física, por cuanto es más sociológico que gnoseológico. La noción de revolución científica pertenece, tal y como la formuló Kuhn, antes a la sociología de la ciencia que a la filosofía de la ciencia. Del mismo modo, la noción de paradigma es antes pragmática que semántica o sintáctica. ¿Acaso –se pregunta Bueno (1992, 390)– los psicoanalistas, los frenólogos o los teólogos no tienen paradigmas con los que creen estar resolviendo rompecabezas o puzles?

Como ya sabemos, la teoría del cierre concibe la ciencia como un cuerpo en sentido anatómico. Y en este cuerpo pueden distinguirse dos clases de tejidos. A un lado, los pertenecientes a la *capa básica*, que contiene «los fenómenos ya estructurados o entretejidos operatoriamente» (Bueno: 1992, 894). A otro lado, los pertenecientes a la *capa metodológica*, entendida como «capa conjuntiva intercalar del cuerpo científico destinada a englobar o componer los tejidos básicos heterogéneos, evitando sus disrupciones [...] tratada a veces como una ontología –o una metafísica– previa a los fenómenos en vez de ser tratada como una metodología» (1992, 897). Mientras que en la capa básica están los teoremas y las verdades construidas, la capa metodológica acoge a esa nebulosa de preceptos metodológicos, consejos pedagógicos,

cuestiones abiertas... Pues bien, para Bueno (1992, 675), «los procesos que Kuhn formula como *revoluciones científicas* quedarían localizados en la capa metodológica, antes que en la capa básica, de las ciencias». Las revoluciones científicas afectan más a la corteza que al núcleo de las ciencias, pues lo que suelen plantear son reconstrucciones, reutilizaciones de materiales ya dados. Por ejemplo: aunque la física surge con puntos de cristalización diversos («el orden axiomático no es siempre el mismo que el orden histórico»), no puede decirse que el cuerpo de la física del siglo XX (la física relativista, la física cuántica) se haya desprendido de los tejidos básicos de la física del XIX (la física clásica), de las construcciones mecánicas y electromagnéticas decimonónicas (Bueno: 1992, 224 y 895).

Las «revoluciones» y las «contrarrevoluciones» científicas son, pues, más metodológicas que básicas. A veces, es cierto, el conjunto de supuestos y artefactos centrales de una ciencia cambia, pero no lo hace por factores subjetivos sino objetivos (y por causas mayormente internas). Además, el cambio se produce de un modo evolutivo y gradual. Ni fijismo ni catastrofismo, sino evolucionismo. La historia de la ciencia precisa de esquemas de transformación y conservación mejor que de revolución, lo cual no quiere decir catastrofistas o fijistas, sino evolucionistas y gradualistas. No hay ciencias revolucionarias, como tampoco hay ciencias reaccionarias. Hay ciencias en continua reforma. El cambio en ciencia es la regla, pero las ciencias posteriores reconstruyen las verdades de las ciencias anteriores:

> Hay "vueltas del revés", "revoluciones", sin duda, en la historia interna de las ciencias, pero éstas, como ocurre en las revoluciones políticas, son siempre parciales, abstractas, y no totales, y tan solo son magnificadas por el triunfador. Sobre todo: los contenidos verdaderos históricos de una ciencia han de poder ser *reconstruidos* por la «ciencia revolucionaria» (la geometría de Euclides como «geometría elíptica»; la mecánica de Newton como un caso límite de la mecánica relativista). Las discontinuidades son, no ya aparentes, sino abstractas, puesto que lo que aparece discontinuo y opuesto diametralmente a la ciencia anterior resultará ser sólo un momento más del sistema (como se ve claramente en la historia de las geometrías no euclidianas) (Bueno: 1992, 224).

La teoría del cierre toma el progreso científico como un hecho positivo, porque las ciencias no permanecen congeladas ni en hibernación y las nuevas siempre surgen en continuidad con las antiguas. Este

progreso no se da en términos absolutos sino relativos, es decir, no es acumulativo globalmente, pero a la larga las ganancias compensan las pérdidas (sobre todo en el plano técnico o tecnológico más que en la esfera teórica). No hay por qué comprometerse sosteniendo que las nuevas ciencias preservan instantáneamente los contenidos lógicos o empíricos de las ciencias suplantadas («el orden histórico no coincide con el orden axiomático»); pero lo que sí resulta cierto es que las ciencias posteriores reconstruyen, de hecho, las verdades construidas por las ciencias anteriores (y si no las reconstruyen, es que no eran verdad).

Los teoremas más modernos –según subraya Alvargonzález (2002, 13)– no se imponen en general por razones de conveniencia gremial, social o política, o porque haya un relevo generacional, sino porque son más potentes que los antiguos. Y esa mayor potencia puede ser objetivamente evaluada porque los nuevos teoremas abarcan más fenómenos, más materiales, que los antiguos, y contienen a éstos como especificaciones suyas o, críticamente, como rectificaciones. Por eso se puede afirmar que en la historia de la ciencia se da un avance que no tiene marcha atrás.

2. Merced a Kuhn, todo el mundo habla de revoluciones científicas.[33] Desde nuestro enfoque, como vimos para las matemáticas, resulta posible reinterpretar gnoseológicamente la noción sociológica de revolución científica en la física, haciéndola consustancial al cierre categorial. Al respecto, la teoría del cierre sustenta dos tesis: (i) las revoluciones científicas acontecen con las constituciones –cierres categoriales– de nuevas ciencias; y (ii) la primera revolución científica es la de la geometría griega. Es curioso que la mayoría de filósofos e historiadores de la ciencia acepten (i) y rechacen (ii), pese a que (ii) se sigue necesariamente de (i), ya que la geometría fue, se mire por donde se mire, la primera ciencia en nacer (Alvargonzález: 2017, 64).

Sin embargo, conviene insistir de nuevo en que la aceptación de la existencia de revoluciones científicas no implica asumir, como han popularizado las engañosas ideas de Kuhn y Feyerabend, la drástica tesis de inconmensurabilidad entre ciencias. Las ciencias pos-revolucionarias no arrollan a las pre-revolucionarias. (Algunos historiadores,

33 En la difusión de la obra de Kuhn como, en general, de la filosofía analítica o anglosajona de la ciencia (primero positivista, luego popperiana y, más tarde, kuhniana) tuvo un peso especial la Guerra Fría Cultural, según hemos sostenido en Madrid Casado (2016b).

como Cohen (1983) o Crombie (1993), ponen en jaque las consignas rupturistas.) La marcha de las ciencias se produce sin saltos, esto es, con continuidad (aunque continuidad no quiere decir, como saben los matemáticos, suavidad). Las ciencias posteriores reutilizan –como sugiere Bueno (1992, 1262)– los materiales de las ciencias anteriores, así como reconstruyen sus verdades (si es que lo eran), a la manera como los sillares o los arcos de un edificio destruido se emplean en la construcción de uno nuevo. Una ciencia no es un edificio acabado (perfecto), sino un edificio que de vez en cuando precisa de reformas, pero con materiales a menudo reutilizables y reutilizados.

La razón principal es que los instrumentos y los aparatos científicos no pueden cambiar de teorías. Ciertamente, incorporan teorías (de otro modo no tendríamos ni idea del significado de su acción), pero crean una relación invariante entre sus operaciones y el mundo. Algo que hasta el propio Kuhn vino a reconocer en *La estructura de las revoluciones científicas*:

> Restrinjamos nuestra atención a las operaciones de laboratorio que suministran al científico indicios parciales pero concretos de lo que ya ha visto. […] Tras una revolución científica, muchas antiguas medidas y manipulaciones se hacen irrelevantes y son reemplazadas por otras. Uno no aplica las mismas pruebas al oxígeno que al aire deflogistizado. Sin embargo, los cambios de este tipo no son nunca totales. [...] Gran parte del lenguaje del científico y la mayoría de sus instrumentos de laboratorio siguen siendo los mismos que antes. Como consecuencia, la ciencia posrevolucionaria incluye inevitablemente muchas de las mismas manipulaciones, realizadas con los mismos instrumentos y descritas en los mismos términos que empleaba su predecesora prerrevolucionaria (Kuhn: 2004, 238).

Y en *La tensión esencial* matizó aún más:

> A pesar de lo incompleto de su comunicación, los partidarios de teorías diferentes pueden mostrarse unos a otros, no siempre con facilidad, los resultados técnicos concretos que alcanzan… concretos y tangibles (Kuhn: 1993, 363).

A pesar del entusiasmo desmedido puesto en las revoluciones teóricas, las ciencias de laboratorio conducen a un conocimiento, un instrumental y unas prácticas persistentes y estables (Hacking: 1992, 29). Si un instrumento da una lectura de X cuando se compone con un fenómeno, continuará mostrando la misma lectura tras un cambio de teoría, aun cuando pueda ser que se considere que ahora dice algo distinto

(Ackermann 1985: 33). Frente a Kuhn y Feyerabend, para los que toda evidencia está cargada de teoría, puede sostenerse que la mayoría de observaciones experimentales resisten los cambios en la esfera teórica, en la teoría que explica el fenómeno o en la teoría que explica el funcionamiento del aparato en cuestión. Mi lectura de la gradación de un termómetro es disociable, aunque no separable, de la concepción teórica de lo que sea la temperatura o el calor. Además, la observación de un mismo fenómeno mediante diversos instrumentos –pongamos por caso, de células, a través de microscopios ópticos o electrónicos– neutraliza la carga teórica presupuesta (y lo mismo podría afirmarse gracias a los chequeos, las calibraciones y la replicación de experimentos). La persistencia de los resultados experimentales suministra continuidad a través de los cambios conceptuales (Franklin: 2002; Franklin & Perovic: 2015). Los aparatos son, pues, más robustos que plásticos; y cada ciencia surge siempre en continuidad con una ciencia o técnica anterior. De lo contrario, si la física estuviese mal fundada y hubiese que refundarla cada cien años, no se explicaría el funcionamiento de la ingeniería. Probablemente, la extraña y rara concentración de «revoluciones científicas» que conoció el siglo XX (teoría de la relatividad, mecánica cuántica, cosmología, genética…) le hizo pensar a Kuhn –pero también a Popper– que la ciencia no es estable, magnificando los momentos tumultuosos en la historia de las ciencias (Hacking: 2001, 145).

3. ¿Qué consecuencias se desprenden de la teoría del cierre para la elaboración de una historia de la ciencia? Antes de nada hay que advertir, con Lakatos, que la filosofía de la ciencia sin la historia de la ciencia está vacía, pero que la historia de la ciencia sin la filosofía de la ciencia es ciega. En efecto, cualquier historia de la ciencia acusa un sesgo filosófico. No es la memoria sino el entendimiento el que examina las reliquias y los relatos que el tiempo ha legado. Y cualquier intento por comprender cómo ha brotado una ciencia pasa por dar una respuesta, aunque sea por la vía de los hechos, a los debates (filosóficos) internalismo-externalismo o discontinuismo-continuismo de la historiografía de la ciencia. Un ejemplo: con respecto a la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII, para unos historiadores (los medievalistas, como Duhem) no hay tal revolución, mientras que para otros (los modernistas, como Koyré) es indudable. Otro ejemplo: pasa por ser un tópico que los filósofos naturales del XVI y XVII descubren el método

científico, pero ¿acaso no lo usaban ya los astrónomos geómetras? ¿En qué se diferencia el proceder de Hiparco o Ptolomeo del de Clairaut o Leverrier? ¿Y el de Pitágoras o Arquímedes del de Galileo o Newton?

La respuesta de la teoría del cierre categorial es que no hay que buscar la esencia de la Revolución Científica en la capa metodológica, en el espíritu o el método científicos, sino en la capa básica, en los resultados de cada ciencia. Con más precisión: en los contextos determinantes. Pitágoras y Arquímedes experimentaban con cuerdas vibrantes, clepsidras, palancas y poleas. En cambio, Galileo y Newton lo hacían con planos inclinados, péndulos, telescopios y prismas. Ésta es la sutil diferencia. Las revoluciones son objetivas, asociadas a cambios materiales (nuevos aparatos), antes que subjetivas (Newton, Einstein o Planck son sustituibles). Porque si la ciencia es operatoria, constructiva, los nuevos aparatos son los responsables de que se recorran cursos científicos también nuevos. Las grandes etapas de la historia de cada ciencia habría que referirlas, por tanto, a las transformaciones en los equipos de aparatos.[34] La astronomía suministra un buen ejemplo: una primera etapa de mapas, cartas, esferas armilares, gnómones y astrolabios; una segunda marcada por el invento del telescopio; y una tercera dominada por los actuales radiotelescopios (Bueno: 1992, 686). En suma, por decirlo contundentemente, la historia de la ciencia es, en gran medida, la historia de los contextos determinantes, de los aparatos. Es la reconstrucción proposicional de cada ciencia lo que conlleva una abstracción de los contextos determinantes, convirtiendo la historia de la ciencia en una historia intelectual y contribuyendo a crear una imagen utópica de la ciencia como sistema doctrinal. Nuestro enfoque sirve de guía heurística para realizar toda una reconstrucción de, por ejemplo, la historia de la física. Lo que a continuación esbozamos telegráficamente.

4. Los egipcios y los babilonios ya conocían algunas técnicas geométricas y astronómicas, pero éstas se mantenían en un plano meramente empírico y observacional. Sólo con los griegos apareció la ciencia con todas sus letras. Detrás de la definición euclídea de la línea recta como la distancia más corta entre dos puntos, se adivina al agrimensor con su plomada, pero no al revés. Los *Elementos* de Euclides marcan el cierre

34 Una propuesta que recientemente ha sido tomada en consideración en el mundo anglosajón por Van Lunteren (2016) con el apoyo de Norton Wise (2016).

categorial de la geometría y, por tanto, la primera revolución científica. Con la constitución de la geometría nació la filosofía, cuyo canon de racionalidad fue el método geométrico hasta bien entrado el Siglo de las Luces. Al tiempo, los griegos aplicaron la geometría al campo astronómico, originando la astronomía geométrica. Es el *problema de Platón*: ¿cómo explicar geométricamente el movimiento anómalo de esos astros «vagabundos» o «errantes» que son los planetas? Eudoxo inauguró los intentos de *salvar los fenómenos* de retrogradación planetaria mediante artificios geométricos: todos los movimientos planetarios se reducían a movimientos circulares y uniformes (perfectos). Hiparco y Ptolomeo mejorarían a Eudoxo aplicando el sistema de epiciclos y deferentes que ideara Apolonio. La cúspide de la astronomía geométrica griega es, sin duda, el *Almagesto*, que contiene un refinado método que permite ajustar todos los movimientos celestes, aunque de un modo cada vez más complejo. Esta virtud del modelo ptolemaico acabaría convirtiéndose en su perdición: llegaron a necesitarse hasta más de ochenta epiciclos para modelizar los movimientos planetarios, lo que condujo la astronomía geométrica medieval a un callejón sin salida.

Simultáneamente al estudio de los movimientos celestes, los griegos también se ocuparon de los movimientos terrestres y, en especial, de la Tierra. Concebida como una esfera (cuyo radio calcularía, con asombrosa precisión, Eratóstenes), Aristóteles defendió su geocentrismo y geoestaticismo. El impío heliocentrismo de Aristarco de Samos y Heráclides del Ponto no explicaba por qué, si la Tierra tenía un movimiento de traslación alrededor del Sol, no se percibía ningún movimiento con respecto a las estrellas fijas (los griegos carecían de instrumentos para medir el paralaje estelar), ni por qué, si la Tierra tenía un movimiento de rotación sobre sí misma, las aves en vuelo o las cosas en caída no quedaban atrás (los griegos desconocían el principio de inercia). La física de Aristóteles separó los mundos supralunar y sublunar, centrándose en este último. Aun así, la física aristotélica funcionaba más mal que bien en el ámbito del mundo cotidiano. Casi explicaba la acción de los sifones y el mecanismo de las bombas de extracción, pero fracasaba a la hora de dar cuenta del movimiento de los proyectiles (que no caían verticales al concluir la acción del motor) y de los graves (cuya velocidad de caída no era proporcional al

peso). Durante la Edad Media, la caída de los graves se convirtió en la *crux aristotelicorum*, sirviendo de acicate a tantos tratados escolásticos titulados *De Motu*. Los principales defectos de la física aristotélica y, por extensión, de la física griega eran sus tintes más cualitativos que cuantitativos, más teleológicos que matemáticos. Aparte de que carecía de un principio de inercia o de un principio de conservación de la cantidad de movimiento (como consecuencia de no disponer de los contextos determinantes asociados), tampoco tenía una buena base matemática. No podía tenerla. La matemática analítica que precisaría la física hubo de ser inventada por Newton y Leibniz, porque la matemática geométrica de herencia griega resultaba bastante inadecuada: como sólo podían operarse entre sí cantidades de una misma magnitud (longitudes con longitudes, áreas con áreas, volúmenes con volúmenes...), no era siquiera posible plantearse la definición de la cantidad de movimiento, que consiste en el producto de la masa por la velocidad (dos magnitudes no homogéneas). Dos mil años después, el péndulo, el cañón y otros aparatos conducirían a la constitución material del principio de conservación del movimiento, que abriría nuevos caminos formales, invitando a operar con magnitudes no homogéneas (las nuevas operaciones romperían el bloqueo y propiciarían un nuevo cierre, en que las masas operan con velocidades, el espacio con el tiempo, &c.). A causa de todo esto, Arquímedes, pese a realizar sustanciosos avances en estática e hidrostática, no pudo avanzar en dinámica e hidrodinámica, que exigían un nuevo hacer matemático (no dominado por el método euclídeo, esto es, menos riguroso pero más operativo, menos geométrico y más analítico) y un nuevo arsenal de aparatos (el científico moderno no sólo sabría geometría euclídea: manejaría con soltura las técnicas artesanales y los inventos medievales, como los anteojos o los relojes mecánicos).

5. Un hijo de la Edad Media, Nicolás Copérnico, recuperaría el heliocentrismo de los antiguos en *De Revolutionibus Orbium Coelestium*.[35] La Tierra era un planeta dotado de tres movimientos: traslación, rotación y trepidación (para explicar la precesión de los equinoccios).

35 En esencia, Copérnico era un astrónomo chapado a la antigua que continuaba creyendo que las órbitas tenían que ser circulares para ser perfectas. La tradición neoplatónica en que se movía se palpa en su mal disimulado realismo, que ni siquiera Andreas Osiander fue capaz de ocultar anteponiendo un furibundo prólogo instrumentalista a su obra.

La retrogradación aparente de Marte con respecto a la Tierra no era sino un efecto óptico desde el observatorio terrestre. Frente a la crítica geocentrista a la traslación de la Tierra alrededor del Sol, Copérnico contestaría que no se observa paralaje estelar porque la bóveda de las estrellas fijas está demasiado lejos. Debido a la relatividad óptica, tan aceptable era el modelo ptolemaico como el modelo copernicano, aunque este último contaba con la ventaja de su simplicidad. De hecho, la Iglesia lo emplearía en las reformas del calendario, adoptándolo como mera hipótesis instrumental (Cardenal Bellarmino). Con la toma de una postura realista por parte de Bruno y Galileo, el diálogo de sordos entre los astrónomos copernicanos y los ptolemaicos no hizo más que empezar. «¿Quién osará –se preguntaba Juan Calvino– colocar la autoridad de Copérnico por encima de la del Espíritu Santo?». Al final, el nuevo modelo se impondría menos por razones discursivas (idealistas) que por razones puramente materiales: la nueva ciencia que lo acompañaba quedó verificada por la acción.

A partir de 1610, con *Sidereus Nuncius*, Galileo Galilei asumió el papel de abogado del «diablo», es decir, de defensor de Copérnico. Gracias a su pericia con el telescopio, sus opositores tuvieron que hacer mil y una cabriolas para no aceptar sus descubrimientos. El telescopio es, parece, un invento de origen holandés, debido a Hans Lippershey, un fabricante de anteojos que descubrió, en 1608, que con dos lentes, una convergente apartada del ojo y otra divergente cerca de él, se veían grandes los objetos lejanos. El aparato se hizo tan popular que, tan sólo un año después, ya podía adquirirse en muchas tiendas de París. En mayo de 1609, Galileo se enteró del invento durante un viaje a Venecia y se construyó uno con un tubo de plomo y dos lentes, una plana convexa y otra plana cóncava. La gran novedad que introdujo fue que decidió, no sólo girarlo y apuntarlo a las estrellas, sino dibujar lo que veía empleando la técnica pictórica del claroscuro, con lo que hizo grandes hallazgos astronómicos. En efecto, muchos miraron armados con sus telescopios a la Luna, pero sólo Galileo supo dibujarla como una esfera cuya superficie estaba sembrada de cráteres. El 14 de abril de 1611, durante una cena en Roma en su honor, el matemático griego Demisiani dio el nombre de *telescopio* al instrumento conocido hasta entonces como *lente espía*

(*perspicillum*). Al dirigirlo al cielo, concretamente a las lunas de Júpiter, Galileo descubrió que había cuerpos que no giraban alrededor de la Tierra y, más importante, que los satélites de Júpiter giraban en torno a Júpiter, que a su vez giraba alrededor del Sol, sin quedarse atrás. Esto refutaba la opinión de que, si la Tierra giraba en torno al Sol, la Luna quedaría rezagada. Además, las fases de Venus sólo podían explicarse admitiendo que la Tierra se movía. Si Copérnico había dado respuesta a la objeción al movimiento terrestre de traslación, Galileo contestó a las objeciones relativas al movimiento de rotación. No sentimos el movimiento de la Tierra bajo nuestros pies, ni las aves al volar o los graves al caer quedan atrás, porque todos viajamos con la Tierra. El experimento de la piedra tirada desde la torre demostraba que la torre y la piedra participaban del movimiento de la Tierra: la piedra caía verticalmente. El experimento de la piedra dejada caer desde lo alto del mástil de un barco demostraría, como constató Gassendi, lo mismo: la piedra caía verticalmente con respecto al barco, era arrastrada por el barco. La ley de inercia o tendencia, que sería formulada por Descartes, pugnaba por salir a la luz.

Aparte de lector de Euclides y Arquímedes, profesor de matemática y artillería, Galileo fue un *ensayador*, un experimentador que destacó por los inventos que construyó: telescopios refractores, compases, termoscopios y otros cachivaches (como el *pulsilogium*, para medir el pulso). Galileo pasó más tiempo en los arsenales de Venecia, entre grúas y cabrestantes, que en la universidad. Los experimentos reales con péndulos y planos inclinados –y los ficticios con bolas dejadas caer desde lo alto de la Torre de Pisa– le forzaron a abandonar la teoría del ímpetus de raigambre aristotélica (aunque no hay acuerdo: para Duhem, Galileo era un empirista; pero, para Koyré, era un apriorista). Galileo sostenía –como ya enseñara la ley de caída de los graves de las *Quaestiones* del dominico español Domingo de Soto– la falsedad de la distinción entre cuerpos pesados y ligeros, porque todos los cuerpos son graves y su velocidad de caída no depende del peso, como decían los aristotélicos. El pisano mantuvo la relatividad del movimiento y diferenció tres clases: el movimiento uniforme, el movimiento uniformemente acelerado o de caída libre y el movimiento parabólico, que es composición de los dos anteriores y el que siguen los proyectiles. Desde luego, Salviati

arrinconó a Simplicio; pero no con sus mismas armas sino con los nuevos aparatos, como el telescopio y el plano inclinado.

6. En 1642, el mismo año que moría Galileo, nacía el genio que vendría a sustituirlo: Isaac Newton. Pero, entre uno y otro, el campo de la nueva física siguió poblándose de contextos y armaduras determinantes: el barómetro de mercurio de Torricelli; los relojes de muelle, la bomba de vacío y el microscopio de Hooke; los relojes de péndulo y las lentes ópticas de Huygens; &c. Con razón afirmó Newton que él no había hecho más que alzarse a mirar sobre los hombros de los gigantes que habían venido antes que él (aunque es bastante probable que, dada su mente esquizoide, este comentario fuera dirigido a su archienemigo Hooke, que era muy bajito). Newton mantuvo, como es sabido, ideas teológicas muy particulares (a las que dedicó prácticamente toda la segunda mitad de su vida), pero los conceptos mecánicos que utilizó y logró engranar unos con otros los extrajo de los análisis de los geómetras, astrónomos e ingenieros precursores. Las necesidades técnicas, económicas y militares ejercieron –como subrayaron Hessen o Merton en su día– una influencia poderosa en el desarrollo científico (entre el 30% y el 60% de las investigaciones leídas en la Royal Society estaban influidas por requerimientos prácticos). Así, por ejemplo, la minería (el drenaje de galerías y la extracción de metales) influyó en la realización de estudios sobre precedentes de la máquina de vapor, de bombas de agua y aire, o del propio concepto de presión atmosférica, que obstaculizaba la elevación de columnas de fluido; el comercio y la navegación, a través de los problemas de la latitud y la longitud, la declinación magnética de la brújula, el trazado de mapas y efemérides, fomentó las observaciones astronómicas y los estudios físico-matemáticos anejos (la ley de Hooke servía para medir la resistencia de los materiales en la construcción de barcos y la teoría de la gravitación se empleaba para predecir las mareas y el movimiento de la Luna, y con ello orientarse en alta mar); y, por no seguir, la técnica militar impulsó la balística interior (la ley de Boyle-Mariotte, que relacionaba la expansión de gases y pólvora) y la balística exterior (el disparo parabólico de Tartaglia-Galileo).

Además, hay que añadir que la mejora en los instrumentos de medida le permitió a Tycho Brahe realizar notables observaciones astronómicas, que las Leyes de Kepler explicarían. Recuperando las *Cónicas* de Apolonio, Kepler abandonó los postulados copernicanos

de circularidad y uniformidad, y explicó los movimientos planetarios mediante la ley de elipses y la ley de áreas. En 1687, los *Principia* de Newton completaron, con su explicación dinámica, la descripción cinemática de la *Astronomia Nova* de Kepler y de los *Discorsi* de Galileo. Si Kepler había reforzado la ligazón entre astronomía y matemática, y Galileo había hecho lo propio entre cinemática y matemática, Newton cerró categorialmente la física al construir, gracias a su dinámica perlada del nuevo cálculo matemático, la identidad sintética entre los cursos operatorios de la mecánica celeste y los cursos operatorios de la mecánica terrestre, que habían marchado separados desde Aristóteles (mundos supralunar y sublunar). La ley de inercia de Galileo y Descartes se convirtió en la Primera Ley de Newton. La Segunda Ley de Newton ($F = dp/dt$), o ley de acción de fuerzas, estableció que la fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual a la variación temporal de su cantidad de movimiento (la máquina de Atwood, creada en 1784, verificó la relación para la sobrecarga y el movimiento de pesas). Y la Tercera Ley de Newton es la ley de acción y reacción, que Newton planteó frente a Cotes a la luz del experimento de los imanes flotando en el agua así como de las experiencias con el choque de péndulos o el retroceso de cañones. A partir de estas tres leyes construyó la *Ley de gravitación universal*, aplicable a cielo y tierra, tanto al movimiento del Sistema Solar como a la caída libre o las mareas (la constante G de gravitación universal se estimó implícitamente con ayuda de la balanza de torsión de Cavendish). El cielo y la tierra fueron, por fin, unificados. Ambos obedecían las mismas leyes, las Leyes de Newton.

Además, al igual que Galileo, Sir Isaac Newton destacó como inventor y como ensayador metalúrgico (esta habilidad es la que explica que fuese nombrado director de la Casa de la Moneda londinense). Construyó, por ejemplo, el primer telescopio reflector, que no usaba lentes sino espejos, y experimentó con discos y prismas colocados en sorprendentes disposiciones. En suma, los *Principia* de Newton constituyen la síntesis de la identidad entre los cursos mecánicos celestes –la astronomía del Cielo supralunar de Copérnico y Kepler– y los cursos mecánicos terrestres –la física de la Tierra sublunar de Galileo–, que certifica la carta de naturaleza de la nueva ciencia: la física. El siguiente diagrama condensa los cursos que confluyeron en el cierre de la física o mecánica clásica:

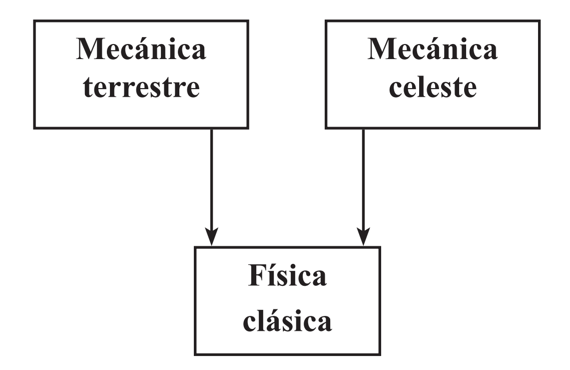


Diagrama 1: el cierre de la física clásica

7. Desde las coordenadas de la teoría del cierre categorial, la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII se produjo en virtud de la dialéctica entre ciencias, técnicas y tecnologías.[36] Fruto de esta intrincación, los principios físicos, que no son simples ni intuitivos ni están al principio, fueron poco a poco construyéndose. Y si los principios son los invariantes de los teoremas, los teoremas son los invariantes de las operaciones de los físicos empleando múltiples aparatos e instrumentos. La «Nueva Ciencia» se impuso gracias a un nuevo arsenal de aparatos. Hacia finales del XVI, el instrumental de las ciencias físicas se reducía a media docena (astrolabio, cuadrante, ballestilla y demás instrumentos de observación geográfica y astronómica); pero los siguientes cien años conocieron una explosión instrumental en los gabinetes de curiosidades y laboratorios amateurs: telescopios, microscopios, barómetros, termoscopios, tubos comunicantes, bombas de vacío, botellas de Leyden y demás artilugios. Como señala Kuhn (1993, 69) en «La tradición matemática y la tradición experimental en el desarrollo de la física»: «la física se había vuelto instrumentalista». Nombres como los de Galileo, Boyle, Hooke o Newton contrastan con los de Copérnico, Kepler, Descartes o Pascal. El propio Boyle, célebre por sus experimentos consistentes en colocar ratones o pajarillos en una campana de la que se extraía el aire con una bomba de vacío, se burlaba de Pascal porque todos los experimentos que éste proponía en su tratado de hidrostática eran mentales.

36 Y donde el impulso de la cosmografía, la cartografía y la náutica hispanas en vano pretenderá enmascararse (Madrid Casado: 2013b y 2014b).

El «filósofo natural» –lo que tras la Revolución Francesa se llamaría «científico»– no sólo sabía de geometría, sabía también de máquinas, aunque emplease el pomposo rótulo de *mecánica racional* para distinguir su nueva ciencia de la ciencia de las máquinas de los artesanos mecánicos. En los *Principios de filosofía* (1647, §203), Descartes entrevió con claridad que él mismo era un híbrido de filósofo y artesano:

> Para acceder al conocimiento de los cuerpos que no percibimos por nuestros sentidos me ha sido de gran utilidad el empleo de cuerpos varios, hechos gracias al artificio de los hombres: pues no reconozco ninguna diferencia entre las máquinas que hacen los artesanos y los diversos cuerpos que la Naturaleza ha formado por sus propios medios. Además, es cierto que todas las reglas de la mecánica pertenecen a la física, de modo que todas las cosas que son artificiales son por ello mismo naturales.

Para Kuhn (1993, 56-90), las ciencias físicas de herencia griega (la astronomía o la óptica) sufrieron una «revolución de ideas», escenificada en el cambio de los círculos por las elipses (nosotros diríamos, alejándonos de su teoreticismo, una revolución ligada a las matemáticas, a nuevas manipulaciones algebraicas y a ese nuevo contexto determinante que era la elipse, que aparcaba a la circunferencia, el contexto determinante fundamental de la geometría euclídea), mientras que las «ciencias baconianas» (la química o el electromagnetismo) sí se vieron afectadas por la moda de hacer más y mejores observaciones y experimentos en la búsqueda de «retorcerle la cola al león», de intervenir en la naturaleza. Frente a su maestro Koyré, Kuhn defendió que el movimiento baconiano no fue un completo fracaso y que se mantuvo activo fuera de la universidad, en contacto con los maestros de oficio, fabricantes de tejidos y tintes, vidrieros, herreros, relojeros, marinos, artilleros... En general, se trataría de pensar la Revolución Científica cristalizando a partir de puntos diversos, irreductibles a las elucubraciones mentales de una rapsodia de genios y enraizados en las técnicas que roturaban la realidad del momento, en un acervo de aparatos y, por descontado, en una serie de innovaciones matemáticas relativas al uso práctico del número para medir y no sólo contar (impulsado, entre otros, por Simon Stevin, el ingeniero que asimiló los números con la línea recta) y al nuevo cálculo o cálculo infinitesimal.

8. A la física clásica le esperaban dos siglos de auténtico éxito, con figuras señeras como Euler, Lagrange o Laplace. Pero, a finales del siglo XIX, el siglo de la electricidad, el progresivo aumento de la

precisión instrumental posibilitó experimentos cada vez a velocidades más grandes y a escalas más pequeñas, y la inclusión de nuevos términos, operadores y relatores fue la gota que colmó el vaso de la física clásica. El principio clásico de relatividad no era capaz de explicar todos los fenómenos electromagnéticos. El experimento de Michelson-Morley guió a Einstein a la hipótesis de invariancia de la velocidad de la luz. La física relativista especial abandonó las *transformaciones de Galileo*, sustituyéndolas por las *transformaciones de Lorentz*, entre cuyas consecuencias se cuentan las siguientes: el rechazo de las nociones newtonianas de espacio y tiempo absolutos, la relatividad de la simultaneidad, la contracción del espacio, la dilatación del tiempo, &c. Al trabajo «Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento» de 1905, se uniría el de «Los fundamentos de la teoría de la relatividad general» de 1916, en que Einstein logró incorporar la gravitación al marco relativista. El principio einsteiniano de equivalencia, que permite asumir que toda aceleración simula gravedad y viceversa, llevó a la física relativista general. Paralelamente, los nuevos principios cuánticos desembocaron en la física cuántica. La revolución relativista se produjo a consecuencia de los fenómenos electrodinámicos construidos sobre interferómetros, y la revolución cuántica se fraguó en los fenómenos atómicos construidos con la ayuda de tubos de vacío y espectroscopios.

Las dos revoluciones de la física del siglo XX consistieron, pues, en cambios en los principios –en el sentido material de la teoría del cierre– de la física clásica. Estos cambios provocaron profundas reorganizaciones internas del campo científico. En general, pueden distinguirse dos clases de revoluciones en física: en primer lugar, por *ampliación* de la categoría científica (por ejemplo, dentro de la categoría clásica, la de las mecánicas de Laplace o de Hamilton con relación a la mecánica de Newton, ver diagrama 2); en segundo lugar, por *escisión* de la categoría científica (por ejemplo, la de la física relativista o la de la física cuántica con respecto a la física clásica, ver diagrama 3). La categoría relativista o la categoría cuántica no son una ampliación, sino una escisión de la categoría clásica. Si fueran una ampliación, la categoría clásica habría desaparecido sumergida en ellas; pero no es así: la física clásica sigue viva, porque abarca la mayor parte de la experiencia diaria. Sin embargo, al igual que la revolución por ampliación, la revolución por escisión tampoco implica una discontinuidad: la mecánica clásica se reconstruye

como caso límite de la mecánica relativista y de la mecánica cuántica. Ahora bien, esto no quiere decir que la topología de las categorías sea lisa, sin pliegues ni solapamientos: como muestra el diagrama 3, las categorías clásica, relativista y cuántica se intersectan (y estas dos últimas lo hacen en contradicción: la física relativista es continua y local, mientras que la física cuántica es discontinua y no local, lo que tendrá gran importancia en cosmología).

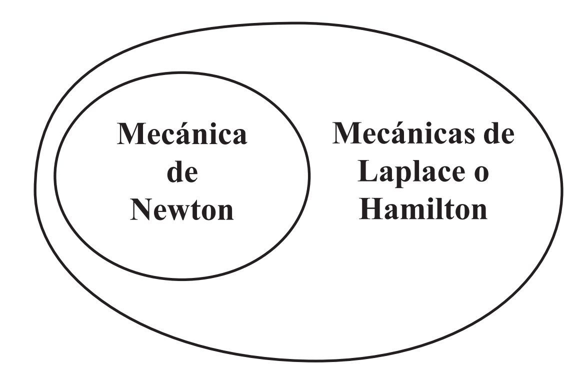


Diagrama 2: revolución por ampliación

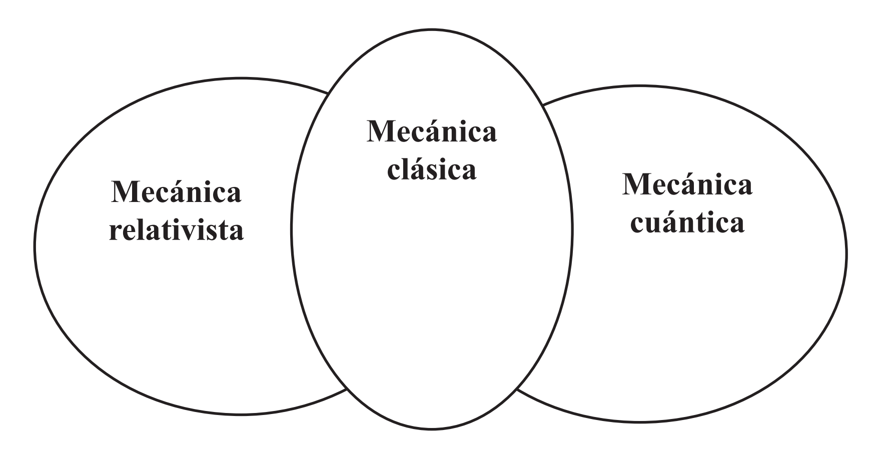


Diagrama 3: revolución por escisión

9. En resumidas cuentas, a comienzos del siglo XXI, las ciencias físicas no conforman una isla, sino un archipiélago; o mejor, siguiendo una imagen de Bueno (1996a, 59), se parecen más a balsas flotantes en un mar de fenómenos sin orillas que a un fondo de roca firme que estuviese situado bajo ese mar.

Capítulo 17
La construcción «hiperrealista» del mundo

1. Si no se puede conocer sin transformar, la ciencia no describe ni representa adecuadamente la realidad sino que la construye sobre la marcha: hace partes del mundo, lo amplía. Y si la empresa científica es el propio mundo haciéndose, la física cuántica –por tomarla de nuevo como parámetro de nuestro análisis– es el propio mundo cuántico haciéndose. La física cuántica va conformando o constituyendo, según progresa, una especie de «hiperrealidad», una suerte de ampliación de la realidad, que en su caso afecta a partes que no están dadas a escala corporal pero que están conectadas con ella (por ejemplo, las series radiactivas o las estructuras atómicas). Es inopinable que, a día de hoy, los fenómenos atómicos, nucleares o cuánticos interesantes son *creados* en máquinas aceleradoras, determinando un mundo fabricado por los físicos en el laboratorio. De hecho, se piensa a menudo que no existen las partículas fundamentales, porque su determinación no parece tener más límite que el que viene impuesto por la tecnología en la construcción de aceleradores. Así, múltiples partículas pesadas del modelo estándar (nuevos bariones, constituidos por tres quarks, uno de ellos *belleza*) sólo se han observado en el Universo actual en las colisiones a altas energías de los aceleradores de partículas. El mundo cuántico –las partículas elementales, cuya identificación es, naturalmente, una tarea compleja y sujeta a revisión (basta recordar las enseñanzas del éter o del calórico)– se manifiesta, por tanto, como una

hiperrealidad, una extensión de la realidad, construida por los físicos operando con grandes máquinas, que a su vez se nos aparecen como las cajas de estas esencias cuánticas.

2. Pongamos unos cuantos ejemplos como ilustración. El primero de ellos es un clásico: el electrón. Lo primero que hay que precisar es que el estudio de la corriente eléctrica que circula por un cable no debe quedarse en la imagen de unos electrones imperceptibles moviéndose a lo largo del cable, porque no puede desconectarse del hecho de que, si los extremos del cable están conectados a un amperímetro, la aguja cambia de posición, o, si los sumergimos en una solución electrolítica, se producen fenómenos electrolíticos y medimos cómo la temperatura se eleva. De suerte que el estudio del electrón es indisociable de la investigación práctica, sustentada –¡cómo no!– en los aparatos (empezando por el tubo de rayos catódicos de Thomson, sin el cual resulta difícil imaginar cómo «descubrir» el electrón). Pero este constructivismo ligado a los aparatos no se desliza por la pendiente del relativismo, por cuanto defiende la objetividad de las partículas dado que son invariantes bajo distintos aparatos. El electrón aparece en procesos de descarga con gases distintos. La creencia en la existencia de los electrones se sustenta en que, empleando múltiples aparatos, hemos determinado su carga, masa, espín... Además, hemos sido capaces de emplearlos como herramientas para interferir con otras entidades naturales. Para Hacking, los científicos creen en la realidad de los electrones porque han logrado construir diversos aparatos que los utilizan para interferir en la naturaleza. Teniendo en mente el dispositivo experimental conocido como Peggy II, del acelerador de partículas de la Universidad de Stanford, que consistía en una fuente de electrones polarizados, Hacking (1983a, 23) afirmaba: «si puedes rociarlos, es que son reales». Pero, como apunta Franklin (1997), los físicos creen en la existencia de los electrones desde mucho antes. El experimento de los rayos catódicos de Thomson y el experimento de la gota de aceite de Millikan demostraron la realidad del electrón. Así lo expresaba Robert Millikan (1924):

> Un prominente literato se refería recientemente al electrón como "sólo la última hipótesis científica, que se convertirá en el abracadabra de mañana". [...] La prueba más directa e inambigua de la existencia del electrón se encontrará en el experimento que por conveniencia llamaré "el experimento de la gota

de aceite". [...] El éxito del experimento realizado en 1909 se debió completamente al diseño del aparato, *id est*, a la relación entre sus partes.

Por lo demás, creemos en la existencia de los átomos porque: en primer lugar, como expresara Poincaré en sus últimos pensamientos, «los átomos son una realidad... *desde que los sabemos contar*», gracias al experimento de Perrin en 1908 (que sintetizó una identidad asombrosa: la coincidencia de valores para el número de Avogadro –el número de moléculas/mol de cualquier substancia– que se alcanzaba recorriendo hasta trece cursos operatorios diferentes de estimación); en segundo lugar, por los experimentos de Laue sobre las estructuras atómicas cristalinas; en tercer lugar, por los experimentos con cámaras de niebla, pantallas de detección por centelleo y tubos contadores por zumbido; y en cuarto lugar, para no seguir, por el manejo de átomos gracias a los nuevos microscopios. A nuestro entender, la aplicación de la mecánica cuántica al diseño y montaje de microscopios nos ofrece un ejemplo estrella del ensanche de la realidad que propician las ciencias. En efecto, como es bien sabido, los microscopios usuales son los microscopios ópticos, inventados a principios del siglo XVII, pero la instalación de sucesivas lentes amplificadoras no mejora su poder de resolución más allá de cierto límite que muy pronto se alcanza. En 1936, Ernst Ruska construyó el primer microscopio electrónico, siguiendo la idea del príncipe Louis de Broglie de que los electrones en movimiento se comportan como ondas de longitud muy corta que es posible enfocar para «observar» lo más pequeño. El microscopio electrónico amplió la realidad ya ampliada por el microscopio óptico, al permitirnos trabajar con aquellas partes de la realidad que la luz visible no iluminaba (ésta tiene una longitud de onda muy grande que hace indetectables los objetos que se ocultan bajo su cresta). Desgraciadamente, ni siquiera estos potentes microscopios eran capaces de permitirnos detectar átomos. Pero, recientemente, en torno a 1986, Gerd Binnig y Heinz Rohrer, del Laboratorio IBM de Zúrich, construyeron el microscopio electrónico de barrido de efecto túnel (como consecuencia del principio de Heisenberg, algunos electrones son capaces de atravesar espacios vacíos –túneles– aunque su energía sea inferior a la teóricamente necesaria), que permite analizar superficies a escala nanométrica y manipular átomos de uno en uno, hasta

el punto de haberse llegado a escribir las siglas de IBM empleando 35 átomos de xenón.

Dentro de estos aparatos, los electrones o los átomos son detectados como realidades; pero, paradójicamente, y sobre este detalle queremos llamar la atención, los electrones y los átomos –como el resto de hiperrealidades a que nos vamos a referir– son indetectables al margen de estos aparatos. Los electrones o los átomos sólo aparecen en el mundo antrópico, porque sin los aparatos que construye el hombre no hay acceso a ellos. Como comprobaremos en la Parte II dedicada a la cosmología, algo similar ocurre con los cuásares o los púlsares, imperceptibles sin radiotelescopios, porque la astrofísica –atravesada de técnicas y tecnología– también contribuye a la confección de ciertas partes del mundo que no vienen dadas a escala corporal. Más ejemplos de hiperrealidades serían, como anota Hacking (2009, 111-112), el láser (un nuevo tipo de fenómeno que no existía antes de 1950 en ningún lugar del Universo) o el condensado Bose-Einstein (un nuevo estado de la materia que no es gas, líquido, ni sólido, sino algo nuevo creado con átomos a temperaturas extremadamente bajas en el seno del laboratorio).

Pasando de la física a la química, nos encontramos con el tecnecio, otra hiperrealidad. Este elemento químico, cuyo nombre significa «artificial», es el primer elemento sintético de la tabla periódica, cuya existencia fue predicha por Mendeleiev (se trata del esquivo elemento 43), pero que no se halló hasta que Emilio Segré lo detectó en 1936 como subproducto de la fisión del uranio al analizar ciertas piezas descartadas del ciclotrón construido por Lawrence. Debido a su gran inestabilidad, no existe en la naturaleza (salvo ciertas trazas detectadas en la luz emitida por gigantes rojas), pero se ha producido en cantidades industriales con fines médicos. Con posterioridad, la nómina de elementos sintéticos se ha incrementado notablemente (curio, einstenio, fermio, lawrencio, rutherfordio…), hasta un total –de momento– de 24. Ninguno de estos elementos químicos existe en la Tierra y todos ellos han sido creados artificialmente, sintetizados en experimentos que involucran reactores nucleares. Ontológicamente, están más allá de la naturaleza y de la cultura, pues ni existen de forma natural por su inestabilidad ni se reducen a meros constructos de una cultura particular (esta matización tendrá más adelante una importancia decisiva).

Pero quizá no haya que ir tan lejos, fijándonos en esos elementos transuránicos –como el plutonio o el mencionado tecnecio– que se producen a través de síntesis. Bastará con que nos detengamos por un momento en el oxígeno, un elemento cuyo «descubrimiento» nos transporta a finales del siglo XVIII. Priestley, en 1774, y Lavoisier, en 1777, desprendieron un gas al calentar precipitado rojo de mercurio en una campana de cristal. Pero mientras que el primero lo interpretó como aire deflogistizado, el segundo lo identificó –gracias a cursos operatorios muy elaborados que le llevaron a aislarlo– como una especie nueva, componente del aire atmosférico. Interesa subrayar la estructura histórica del célebre «descubrimiento», que no se reduce a un punto –a un instante concreto– sino que se extiende a lo largo de un intervalo de tiempo, porque –por decirlo con Kuhn (2004, 130)– «el oxígeno no surgió sin un proceso ulterior de experimentación y asimilación». En otras palabras, como mantiene Gustavo Bueno (1992, 874 y ss.), superando la distinción escolar entre contexto de descubrimiento y contexto de justificación introducida por Reichenbach en 1938, «no hay descubrimiento sin justificación». Sólo retrospectivamente, tras la justificación, puede afirmarse con certeza que se estaba ante un descubrimiento. En ciencia, los descubrimientos no preceden a las justificaciones sino más bien al revés, aunque esto resulte en apariencia sorprendente. El descubrimiento del oxígeno no puede desligarse de la posterior articulación conjunta del experimento y la teoría encaminada a justificarlo, ya que es precisamente esta articulación la que prueba que se estaba ante un descubrimiento y no ante un error (como en el «descubrimiento» de la fusión fría). Pese a que se haya terminado la fábrica del edificio científico, los andamios o las escaleras no pueden arrojarse y han de quedar incorporados de algún modo a la arquitectura de la obra científica. Es por ello que, siguiendo a Bueno (1989, 10-12), el episodio del oxígeno pide reconstruirse como un caso de «descubrimiento constitutivo», «no manifestativo», porque el oxígeno no estaba oculto, esperando a ser desvelado (des-cubierto). Sólo por la mediación de ciertos conceptos, aparatos y técnicas, se constituyó esa hiperrealidad que es el oxígeno. De lo contrario, se habría podido descubrir el primer día en que alguien embotellara aire común, porque ya estaba (supuestamente) ahí. Se precisa una secuencia de conceptos que agarren la esencia más que la vean y un contexto determinante

material que más que presentar una realidad previa –que carece de entidad al margen del propio aparato– canalice esa nueva realidad.[37]

Análogamente, la biología aporta hiperrealidades como las células, los genes o los transgénicos. A finales del XIX, los biólogos podían ser antirrealistas con respecto a las bacterias, los virus o los cromosomas; pero, hoy día, cuando son diariamente manipulados en laboratorios de medio mundo, resulta difícil no ser realista para con ellos. Así, cierto gobernador brasileño del Partido Positivista, crecido en la estela de la doctrina de Comte, no creía en la realidad de los gérmenes, por su inobservabilidad, y, sin embargo, murió de viruela por no querer vacunarse contra ella en torno a 1890.

Por último, también hay hiperrealidades matemáticas, como los números *naturales* o los números *reales*. Estos números son, desde luego, obra del hombre; pero se enajenan y ganan autonomía hasta el punto de que existe una infinidad de ellos, más de los que ningún hombre o ninguna máquina contará jamás, constituyendo una nueva realidad. Y, mismamente, en estadística, la noción de una población como una cifra exacta conforma otra hiperrealidad, ya que apenas tuvo sentido hasta que no hubo instituciones estadísticas encargadas de definir lo que significa y de establecer con precisión cómo estimar el número de habitantes, votantes, parados o consumidores satisfechos de un país. «Los términos del campo de las matemáticas no "preexisten" al proceso de su construcción» (Bueno: 2000, 66).

3. Adentrémonos, después de esta retahíla de ejemplos, en las consecuencias gnoseológicas que se derivan del *hiperrealismo*, dejando para el siguiente punto las consecuencias ontológicas.

La principal consecuencia gnoseológica tiene que ver con la reconceptualización del papel que los aparatos juegan en las ciencias,

37 La noción de «descubrimiento constitutivo» sirve para dinamitar la dicotomía descubrimiento/invento, donde se supone que los objetos descubiertos simplemente preexisten al descubridor a diferencia de los objetos inventados. Los «descubrimientos constitutivos», por la artificiosidad y la transformación de una materia que conllevan, se aproximan a los inventos, pero se distancian de ellos en que las morfologías así descubiertas exigen preexistir al sujeto gnoseológico, como consecuencia de la neutralización de las operaciones que promueven las ciencias. Las operaciones realizadas por el sujeto operatorio Lavoisier son segregables (a día de hoy no comprometen la verdad del oxígeno). En cambio, las operaciones llevadas a cabo por Edison no pueden ser segregadas completamente, dado que el ensamblaje de sus inventos –la lámpara de filamento incandescente o el fonógrafo– responde únicamente a las operaciones concretas de este sujeto operatorio durante su génesis.

lo que es condición *sine qua non* para comprender las partículas, los átomos o los elementos como hiperrealidades. En principio caben dos posibles interpretaciones. Por un lado, la interpretación *subjetual*. Desde esta óptica, los aparatos son órganos extrasomáticos, prolongaciones de los sentidos. Con coordenadas subjetualistas, un telescopio o un microscopio serán interpretados como prolongaciones del ojo humano. Por otro lado, la interpretación *objetual*, que es la que abraza la teoría del cierre categorial. Los aparatos no son prolongaciones de los sentidos del sujeto para ver u oír más allá. Los aparatos de la físicos pueden ser términos (una pesa de un kilogramo), operadores (un telescopio) o relatores (una balanza). Un microscopio no es, entonces, un tercer ojo sino un operador objetivo, porque lo que arroja no son representaciones sino transformaciones de unas configuraciones microscópicas en otras configuraciones macroscópicas. Los aparatos no son, pues, meros auxiliares de los ojos, los oídos o las manos del físico.

Resulta curioso constatar cómo Gustavo Bueno e Ian Hacking se distancian en este punto cuando analizan si *realmente* vemos a través del habitual, en los laboratorios de física, microscopio túnel, herramienta que permite al físico obtener «imágenes» de una superficie a escala nanométrica y manejar átomos de uno en uno. Hacking abraza una interpretación *subjetual*, considerándolo como una prolongación auxiliar del ojo humano: «una manera de extender los sentidos es con el uso de telescopios y microscopios cada vez más imaginativos» (Hacking: 1996, 210). El principal argumento que aduce para demostrar que realmente vemos a través de un microscopio es que microscopios que usan las propiedades de la luz de modo muy distinto producen la misma imagen. Por su parte, Bueno (1980, 62) avanzó y anticipó una intuición semejante a la archiconocida de Van Fraassen (1980, 32) sobre lo observable y lo inobservable (un electrón es inobservable porque no podemos verlo a simple vista, pero un satélite de Júpiter es observable porque podemos viajar hasta él y mirarlo), ya que para Bueno tampoco vemos a través de un microscopio al faltarnos la propiedad de *enfrentabilidad*. Mientras que la estatua de César es imagen de César porque podría confrontarse con el propio César, a la manera que pueden ponerse dos cuerpos uno frente a otro, «una microfotografía (óptica o electrónica) no es una *imagen*, pese a la

afinidad que ella tiene técnicamente con una fotografía ordinaria, porque mientras la fotografía I puede enfrentarse isomórficamente con el objeto O, que coexiste con ella segregadamente (puede percibirse independientemente) ante los sujetos que establecen el morfismo, la microfotografía I' no puede enfrentarse con el objeto O' puesto que éste, por hipótesis, no puede ser percibido segregadamente de I'» (1980, 62). Para Bueno, como para Van Fraassen (1996, 34), las limitaciones a las que el sufijo «able» de «observable» se refiere son las del sujeto operatorio. Si seguimos la estela de vapor que queda en el cielo cuando pasa un avión a reacción, terminamos por encontrar y ver el avión. Pero no podemos hacer lo mismo mirando la estela de vapor que deja una partícula al atravesar una cámara de vapor. Un avión es observable, pero un electrón no. Curiosamente, la concepción de Bueno (1982) acerca de los aparatos y, en especial, del microscopio mereció el calificativo de positivista por parte de Mario Bunge. No obstante, a diferencia del positivista Van Fraassen, Bueno es materialista y no clausura la ontología científica en aquello que podemos ver y tocar, como Santo Tomás ante el Resucitado (los electrones son reales porque pueden ejercer efectos sobre los cuerpos que son *prima facie* reales).

Cierto es que contradice el sentido común el afirmar que una célula, por el mero hecho de faltarnos la propiedad de enfrentabilidad, no es observable, cuando un microscopio suele ser interpretado como una potente lupa. Pero hay que remarcar que la escala corporal es siempre el primer analogado y el origen obligado de todos los análisis, y que, sin lupa o microscopio, no se percibe la célula. Pero, entonces, podría replicarse, este argumento también sería válido contra una persona que llevase gafas gruesas y no viese bien cierto cuerpo. Sin embargo, la diferencia estriba en que el ciego puede tocar con sus manos ese cuerpo, mas nunca podrá hacer lo mismo con la célula (siempre «tocamos» tejidos). A lo que a su vez podría objetarse que, a día de hoy, sí somos capaces de tocar una célula, como demuestra la fecundación in vitro de un óvulo con un único espermatozoide portado en una aguja. Pero en este caso ya se está presuponiendo la imprescindible mediación de los aparatos, de la aguja, y vuelta a empezar. Un biólogo armado con un microscopio es, según esto, más que un coleccionista de sellos, de imágenes del micromundo; porque el microscopio no se limita a

mejorarnos la percepción sacando a la luz la inobservable célula, ya que esta hiperrealidad sólo aparece tras enfocar con cierto método la preparación, y los tejidos que nos forman sólo se descomponen en células cuando los ponemos precisamente bajo el microscopio.

Los aparatos son, como vimos en el análisis sistemático de la mecánica cuántica, las «cajas de esencias», de las hiperrealidades confeccionadas por las ciencias, así como las armaduras determinantes de verdades, el lugar de la verdad en ciencia. Generalizando: sin aparatos no hay verdades, y sin verdades no hay ciencia. Una ciencia sin aparatos o verdades es un círculo cuadrado. Estamos ante el *criterio demarcativo de los aparatos*: «No cabe hablar, desde luego, de una ciencia sin aparatos, salvo que se mantenga una concepción "mentalista" o "lingüística" de la ciencia» (Bueno: 1992, 683). Ahora bien, a la luz del *criterio de los aparatos*, la franja de verdad de las ciencias teóricas y observacionales es mucho más estrecha que la de las ciencias experimentales o de laboratorio, y esto tendrá su repercusión en la Parte II dedicada a la cosmología. La física precisa de aparatos y, además, de aparatos que ella misma construya, porque «un instrumento que actuase como "caja negra" estricta sería un instrumento mágico, no podría ser jamás un instrumento científico» (Bueno: 1992, 119). Pero no se crea que el *criterio de los aparatos* es algo nuevo, sacado de la manga, porque el Padre Balmes ya lo ejercitó como posible criterio para distinguir entre ciencias y pseudociencias en «De la imposibilidad física o natural» de su *Curso de Filosofía Elemental* (Libro II, Cap. II, Secc. II, 2/345, 1899):

> Asistimos a un espectáculo en que un hombre transforma varios objetos: *no hay ningún aparato*; los medios que se emplean son palabras misteriosas y maniobras extravagantes. Atendidas todas las circunstancias de la persona, del lugar y del tiempo, no hay causas que puedan producir fenómenos tan sorprendentes; ¿qué juicio debemos formar? Que no hay allí la acción de leyes secretas de la naturaleza, sino la habilidad de un diestro jugador de manos, que ofrece como asombrosas realidades un conjunto de vanas apariencias. Para descifrar el enigma, toda nuestra atención debe dirigirse, no a la eficacia de las leyes de la naturaleza, sino a las manos del jugador, a los instrumentos de que se sirve, o a las señas y acciones de algunos taimados que están a sus alrededores. Por el contrario si los fenómenos sorprendentes se verifican en una cátedra de física experimental, *donde vemos los diferentes aparatos para poner en movimiento y combinación los agentes de la naturaleza*, debemos guardarnos de afirmar que lo que vemos es imposible naturalmente, por más extraordinario que nos parezca.

Además, como contraprueba del *criterio de los aparatos*, podemos aducir que es capaz de explicar por qué la Alemania Nazi no logró fabricar la bomba atómica. No es que faltaran cabezas, es que faltaban aparatos. En sus diarios, Albert Speer, Ministro de Armamento del III Reich, cuenta que Werner Heisenberg le dijo en una conversación privada que iba a ser muy difícil fabricar la bomba porque la industria alemana estaba muy menguada. En efecto, como recoge Sánchez Ron (2007, 681), en 1938, justo antes del comienzo de la contienda, Estados Unidos ya disponía de 8 aceleradores de partículas y proyectaba otros tantos, Inglaterra disponía de 2 y, sin embargo, Alemania aún pugnaba por construir el primero.

Sólo resta una pregunta: ¿por qué la relevancia gnoseológica de los aparatos ha tardado tanto tiempo en ser señalada? Porque a los aparatos en ciencia les ha ocurrido lo que al término medio del silogismo, que cae en el olvido tras ser empleado. En efecto, de igual manera que *B* desaparece en el silogismo «$A \rightarrow B$ *y* $B \rightarrow C$*, ergo* $A \rightarrow C$», los *aparatos* han desaparecido en el *silogismo gnoseológico*: «Nosotros manejamos aparatos que, a su vez, manejan entes reales; luego nosotros manejamos entes reales»... y se olvida la imprescindible mediación de los aparatos.

Este olvido es especialmente grave en física cuántica. Los físicos no manipulan las partículas elementales *inmediatamente*, lo hacen siempre de modo *mediato*. Nuestro trato con ellas viene necesariamente mediado por los aparatos (aceleradores lineales o circulares, cámaras Wilson, &c.). (Estas partículas, según sostuvimos, no son referenciales fisicalistas sino estructuras esenciales, sin que esto quiera decir que sean ontológicamente superfluas.) Mientras que los partidarios de las *variables ocultas* buscan recuperar la categoría cuántica para la categoría clásica (limando las asperezas indeterministas y no locales) y los partidarios de la *decoherencia* pretenden reconstruir la categoría clásica desde la categoría cuántica (viendo los cuerpos con ojos cuánticos), el espíritu de Copenhague que encarna la teoría del cierre pasa por conjugar ambos dominios –clásico y cuántico– sin hipostasiar ninguno, reconociendo que cada ciencia trabaja su propio dominio de realidad armada con un arsenal característico de aparatos. Para Bueno, como para Bohr, la física cuántica sólo es comprensible a través del *médium* de la física clásica, que es dentro de la cual manejamos los

aparatos: «es esencial recordar que toda información inequívoca referente a objetos atómicos se obtiene a partir de marcas permanentes –tales como una mancha sobre una placa fotográfica, producida por el impacto de un electrón– dejadas sobre los cuerpos que definen las condiciones experimentales» (Bohr: 1964, 6). Al estar dados a escala corporal, los instrumentos que efectúan las mediciones cuánticas siguen las leyes clásicas del mundo que nos circunda. Los conceptos formados en el trato con el *mundus adspectabilis* son imprescindibles a la hora de describir cualquier proceso, hasta aquellos que trascienden el rango de la experiencia ordinaria. No hay tanta diferencia entre un físico clásico y un físico cuántico, porque ambos se ocupan de procesos –uno, macroscópicos; otro, microscópicos– a través de dispositivos e ingenios mesocósmicos. Los físicos cuánticos manipulan sistemas a escala humana que interactúan con microsistemas que son portadores de acción.

Frente a las ideas místicas de una gran mayoría de filósofos de la mecánica cuántica, Bueno (1982, 372) propone aclarar la fascinante idea de Bohr sobre el papel de los aparatos:

> El sentido de mi interpretación es llamar la atención sobre la importancia de la interpretación gnoseológica de los aparatos. [...] El aparato actúa –en física cuántica– como una especie de demiurgo, que convierte la potencia en acto. Pero si el aparato funciona como operador, entonces no hay que hablar de *actualización* sino que habría que decir simplemente que lo que hace el aparato es *transformar*. El aparato está transformando ciertas disposiciones de partes de la realidad en otras disposiciones como, por ejemplo, ciertas diferencias de potencial en corrientes eléctricas o en trayectorias de agujas. Lo que estamos viendo es una transformación, en la línea de la Escuela de Copenhague, pero sin dualismo de sujeto/objeto.

Un dualismo al que el propio Bohr, a diferencia de Heisenberg, apenas hizo referencias. Bohr rechazó explícitamente la idea de que los resultados experimentales sean un producto o una proyección del observador, abogando por una interpretación de las teorías físicas más ligada a la práctica experimental, que renuncie a considerarlas como representaciones pictóricas o visualizables del mundo y que tenga en cuenta los instrumentos de observación, medición y experimentación.

El físico clásico era un espía (capaz de observar sin perturbar), pero el físico cuántico es, a un mismo tiempo, espectador y actor, a causa de la interacción finita no nula entre su aparato de medida y el

sistema en observación. Las relaciones de imprecisión de Heisenberg constituyen la versión matemática del principio de complementariedad onda-corpúsculo de Bohr. Son el peaje por el uso de nuestros medios macroscópicos (de dominio físico-clásico) de medición microscópica (de dominio físico-cuántico). Mediante ciertos aparatos, como la cámara de niebla o la emulsión de una placa fotográfica, podemos medir la localización espacial de un electrón, que entonces se presenta como partícula; pero, a cambio, nada podemos saber de su momento. Recíprocamente, podemos hacernos con un instrumento que precise con exactitud el momento de un electrón, que entonces se comporta como onda; pero, en este caso, nada podemos aventurar de su posición. Bohr podría haber dicho, parafraseando a Ortega y Gasset, que el electrón es el electrón y su circunstancia (dispositivo experimental). Pues bien, para Bueno (1978, 90), como para Bohr, la extraña naturaleza dual de la luz y la materia, la dualidad onda/corpúsculo de los «cuantones», no genera contradicción alguna, porque ambos conceptos están conjugados. Dependen de los dispositivos experimentales empleados para acercarnos a ambos aspectos en cada caso, siendo su presencia simultánea imposible, puesto que no pueden prepararse sendos montajes experimentales al mismo tiempo. Las imágenes de las partículas atómicas como corpúsculos o como ondas no pasan de ser meros recursos para hacernos una idea de lo que acaece cuando experimentamos con ellas, puesto que nosotros nos limitamos a manipular macrosistemas y producir macroeventos que involucran microsistemas (por obra de los aparatos).

Tras lo expuesto, se comprenderá que el determinismo y la causalidad, entendidos al modo materialista, no se dan en el vacío, sino siempre asociados a ciertos contextos materiales (la relación causa-efecto no es una relación binaria, pese a su apariencia, sino ternaria, y presupone un esquema material de identidad sobre la que se ejerce). La teoría del cierre categorial sostiene que el determinismo y la causalidad están presentes en las ciencias gracias a las operaciones y los aparatos. El determinismo causal está, por tanto, asociado a los cuerpos, al nivel fisicalista. No es, ni mucho menos, una relación de campo ilimitado. No es universal y, por mor de esta limitación, tan importantes como las conexiones son las desconexiones causales o indeterministas. Por ejemplo, si no hay cuerpos de por medio, no

tiene por qué haber conexiones causales o deterministas. En cuyo caso, como apunta Bueno (1999, 20), «la disyuntiva entre el acausalismo (o indeterminismo) cuántico y el determinismo se disuelve». Si abandonamos la representación de los electrones como cuerpos minúsculos, las consecuencias devastadoras del indeterminismo quedan automáticamente conjuradas. ¿Por qué habría de ser determinista la dinámica entre electrones, si no son cuerpos? El indeterminismo sólo sería escandalosamente irracional si se aplicase a los cuerpos (por ejemplo, si lanzamos una bola de billar contra otra y, antes de chocar, se evaporan en el aire sin dejar huella). Así pues, cabe distinguir con Bueno (1999, 20) dos clases de indeterminismo: un indeterminismo *en sentido negativo* (cuando no hay determinismo, pero no tendría por qué haberlo) y un indeterminismo *en sentido privativo* (cuando no hay determinismo, pero debería haberlo). Aplicando esta distinción, el ejemplo de las bolas de billar sería un caso claro de indeterminismo en sentido privativo. Por contra, el ejemplo de los electrones es, simplemente, un caso de indeterminismo en sentido negativo. En cualquier caso:

> Si este proceso extracausal es racionalizable, es decir, si puede ser tratado mediante razones, aunque no lo sea mediante causas, lo será siempre a través de contextos determinantes constituidos por armaduras corpóreas [...] y, entre estas armaduras, habrían de figurar los propios aparatos que producen o miden las "cascadas de electrones" objeto de las paradojas indeterministas de la física cuántica (Bueno: 1999, 20).

La física cuántica es, por consiguiente, una red de teorías, modelos, aparatos y realidades interconectadas. Y hay que decir que esta concepción materialista no es extraña a la filosofía espontánea de algunos físicos cuánticos. Un buen ejemplo son Miguel Ferrero & Emilio Santos (1996, 17):

> Puesto que de *hecho* hay ciencias que organizan campos materiales según procedimientos constructivos que sería muy largo exponer ahora aquí, existen los objetos con los que se hacen las pertinentes operaciones de construcción. Nótese que el postulado realista así entendido no es un postulado arbitrario. Su justificación está en la existencia de las ciencias, es decir, en el conocimiento que hemos adquirido de las leyes de la naturaleza. Son, pues, las relaciones activas entre el sujeto (trascendental) y el mundo en el que opera las que prueban a *posteriori* la existencia de una realidad objetiva. Y es su actividad, al transformarla, la que constituye una nueva objetividad.

4. Abordemos ahora las consecuencias ontológicas del *hiperrealismo*. Hemos intentado dilucidar el estatuto gnoseológico de los aparatos, pero ¿cuál es su estatuto ontológico? Hasta donde se nos alcanza, los aparatos son máquinas epistémicas y ónticas, esto es, productoras de conocimiento y constructoras de mundo, de hiperrealidades como el electrón, los átomos o los elementos químicos. Pero, entonces, preguntémoslo abiertamente, todas estas hiperrealidades… ¿son descubiertas o inventadas?

Nos encontramos de nuevo aquí con la cuestión de la materialidad que cabe atribuir a esas estructuras esenciales que forman parte inextricable del cuerpo de las ciencias. La ola de la sociología del conocimiento científico ha vuelto a poner de actualidad esta pregunta, más allá de los debates permanentes sobre la referencia de las entidades teóricas en el seno de la filosofía analítica. Ian Hacking (2001, cap. 1) aconseja que siempre que algún sociólogo de la ciencia afirme que X es una construcción social, no hay que preguntarle por qué X es una construcción social sino qué es exactamente X. Y a la hora de examinar el constructivismo de uno de estos sociólogos, Hacking (2001, cap. 3) propone contrastar su posición con respecto a tres puntos críticos: 1) la contingencia (es decir, la idea de que la ciencia no está predeterminada a seguir un único camino); 2) el nominalismo (esto es, el antirrealismo con respecto a las entidades teóricas, como el electrón); y 3) las explicaciones externas de la estabilidad (la apelación a valores sociales en lugar de gnoseológicos para justificar el éxito en ciencia). Desde luego, Hacking tiene toda la razón al exigir a los sociólogos que precisen con cuidado qué es X, si X es –como vimos que hizo en el caso de Pickering– el concepto de quark o los propios quarks. Pero los tres puntos de toque que establece muestran que sigue parcialmente preso de las distinciones maniqueas descubrimiento/invención o, más en general, realismo/constructivismo (probablemente, una idea como la de «descubrimiento constitutivo» que hemos avanzado de la mano de Gustavo Bueno le parecería una entelequia). En múltiples ocasiones, Bruno Latour se ha desgañitado aduciendo que el hecho de que X sea una construcción no quiere decir que X no sea real. Así, amparándose en Vico, Latour (2003, 87 y ss.) eleva su voz contra los que plantean el binomio realismo/constructivismo como una dicotomía, como una elección inevitable (o lo uno o lo otro), y termina ri-

diculizando –deconstruyendo– el sistema de puntuaciones erigido por Hacking para clasificar a los sociólogos del conocimiento científico.

Woolgar y, principalmente, Latour han sido los dos sociólogos que más se han detenido en diseccionar el estatus ontológico de las entidades científicas. Mientras que los incondicionales del Programa Fuerte y del Programa Empírico desprecian el papel de la naturaleza en la construcción (social) del conocimiento científico (obviando, por ejemplo, que hay experimentos negativos, que no dan los resultados esperados, contradiciendo las expectativas de los científicos involucrados), los fieles a los Estudios de Laboratorio intentan desentrañar los compromisos ontológicos que la maquinaria científica oculta. Para ello, regresan a Bachelard y la «fenomenotecnia» que ponía como base de la ciencia; porque la ciencia moderna, y sobre todo la tecnociencia, más que describir observaciones, produce fenómenos (como los efectos Zeeman, Stark, Hall, Joule o Venturi en física). Pero hay más: los bioensayos sintetizan substancias; los espectros no existirían sin el espectrómetro; y «difícilmente se podría decir que las proteínas tienen peso molecular si no fuera gracias al ultracentrifugado» (Latour & Woolgar: 1995, 78). El empirismo se esfuma; porque los aparatos –que, al decir de Bachelard, son teoría reificada– y las técnicas, las habilidades artesanales de los científicos, inscriben directamente en la naturaleza, transformando el laboratorio en una suerte de fábrica, una metáfora desenvuelta por Knorr-Cetina (1981).

En esta línea, Woolgar (1990, 83) invierte la flecha habitual entre conocimiento y realidad, afirmando que la ciencia no descubre sino que constituye sus objetos. Pero como la sociología de la ciencia carece, al haberse desprendido de la escala gnoseológica en pos de la simetría entre verdad y error, de los instrumentos filosóficos necesarios para dar cuenta del paso de los fenómenos subjetivos a las estructuras o esencias objetivas mediante la neutralización de operaciones –confluencia de cursos operatorios independientes– de que habla la teoría del cierre categorial, Woolgar es incapaz de abrirse paso hasta una ontología materialista e hiperrealista, aun cuando atisba algo de lo dicho al escribir: «la presencia o ausencia del agente, el grado en que está involucrado en el trabajo de la representación, se encuentra estrechamente vinculado a la solidez ontológica del objeto» (Woolgar: 1990, 106). En consecuencia, el proceso que denomina

de «separación e inversión» por el cual los objetos construidos por los científicos terminan proyectándose en el mundo se resuelve en que «el discurso construye sus objetos» (1990, 104). En otras palabras, en un *textismo* que contempla a ciertos documentos –como un trazo o una interferencia inusual en los radiotelescopios– como la partida de nacimiento del objeto científico –de un púlsar en lugar de una explosión puntual o una señal de vida extraterrestre–. Y, sin embargo, los objetos científicos –como no nos hemos cansado de repetir– pueden existir al margen de teorías, relatos y discursos.

Pese a que algunos de sus trabajos hayan sido caricaturizados por Sokal y los cientificistas, es Latour quien más en serio ha intentado –desde el campo de los estudios sociales de la ciencia– superar este idealismo textista, buscando anclar la ciencia en algo de algún modo material (aunque con ello haya irritado a Bloor o Collins), así como explicar cómo es posible hablar de descubrimientos científicos si la ciencia es, en el fondo, una construcción. Su propuesta, como ya apuntamos, consiste en rebasar los dualismos Sujeto/Objeto y Naturaleza/Cultura, porque –como pregunta Huerga (2003, 40)– «¿puede llamarse *postmoderno* un movimiento que arraiga en una dualidad tan tradicional?». En efecto, si el cuerpo de la ciencia es un invento cultural, entonces la sociología de la ciencia se ve abocada al relativismo; pero si el único freno a una consecuencia tan radical es que los sociólogos apelen a una mítica naturaleza donde descubrir los datos empíricos que faltan, no se habrá avanzado ni un paso desde el realismo adecuacionista más rancio y metafísico. Sólo Latour es consciente de la pobre ontología que oprime a la mayoría de sus colegas sociólogos, y apuesta por concebir las entidades científicas no como objetos sino como actantes, agentes no humanos en proceso de estabilización entre el polo social y el polo natural.

Por ejemplo, desde una perspectiva constructivista, no puede decirse –si se quiere ser coherente– que Ramsés II murió de tuberculosis, puesto que el bacilo de Koch no fue *construido* hasta finales del siglo XIX. Para Latour (2000, 247-249), la afirmación de que Ramsés II murió de tuberculosis sólo dejó de ser un anacronismo, comparable a afirmar que murió de disparos de ametralladora, cuando la momia fue traída en 1976 a un laboratorio por un equipo de científicos franceses. Fue en ese preciso momento cuando los restos de Ramsés II quedaron

incorporados materialmente en la red científica. Los científicos extienden la acción de sus entidades en el espacio y en el tiempo; pero la prolongación hacia el pasado de los efectos del bacilo descubierto por Koch en 1882 no se realiza sin coste alguno, ya que requiere que la momia milenaria de Ramsés II sea examinada en un laboratorio, que sus pulmones sean radiografiados, que sus huesos sean esterilizados, &c.

Análogamente, una vez que fue descubierto por Pasteur en 1857, el fermento del ácido láctico ya ha estado ahí desde siempre, incluidas las calabazas del *homo sapiens* en el Neolítico, y así sigue siendo responsable hoy en día del suero que se agria en todas las lecherías del planeta. «¿Cómo se podría –se interroga Latour (1995, 97)– hacer la historia de la creación de un ser [una hiperrealidad] que de inmediato parece desbordar su marco histórico para remontarse a la totalidad del tiempo y expandirse en la totalidad del espacio?». Para Latour, la respuesta pasa por salir del jardín de infancia del idealismo y reencontrarse con el realismo y los riesgos de la ontología, por estrafalario que parezca. El sociólogo y filósofo francés explora esta vía y habla de Pasteur como de un acontecimiento que le llega al ácido láctico: «lo que parecía absurdo en una metafísica de la esencia y de los atributos puede convertirse en un juego de niños para una ontología de los acontecimientos y de las relaciones» (1995, 98). Desde nuestras coordenadas, se trataría más bien de pasar de una ontología de esencias porfirianas o megáricas (fijas e inmutables) a otra ontología de esencias plotinianas o evolutivas (como sustenta el materialismo filosófico), que no son eternas porque no están aisladas y poseen un desarrollo procesual (a partir de un núcleo vinculado a distintos fenómenos y morfologías que actúa como manantial, la esencia se dota de una corteza y un cuerpo que se despliega en un curso, en una serie de fases evolutivas que incluso pueden conducir a su destrucción) (Bueno: 1996b, Parte I cap. 5).

En el laboratorio, prosigue Latour (1995, 100), el hábil Pasteur sirve de ocasión, de circunstancia, para el establecimiento duradero de una fermentación láctica. Por medio de ingredientes (levadura de cerveza, licor), de gestos (filtrar, disolver, añadir), de montajes (grifos, recipientes, tubos, estufas) y de instrumentos de medida (termómetros, balanzas, termostatos), la fermentación se manifiesta y resulta visible en el cultivo. Sin Pasteur y sin el medio artificial que aquel le diseña,

este nuevo actor –el fermento del ácido láctico– nunca hubiese hecho acto de aparición. En el laboratorio Pasteur se comporta como un buen pragmatista: «la esencia es existencia y la existencia es acción» (1990b, 61). Esto quiere decir que el ser y la razón de ser del nuevo actor descansan concretamente en su fuerza para cambiar el estado de cosas. A juicio de Latour (1990b, 73), la diferencia entre Arquímedes en la playa y un brujo africano en medio de sus piedras mágicas descansa en la relación de fuerzas, en que los entes del brujo son objetos fallidos (cuasi-objetos), mientras que los entes científicos son ya objetos de pleno derecho: «dadme un laboratorio y levantaré el mundo».

Mediante el trabajo del científico en el laboratorio, el actante no humano (el fermento) transforma su estatus inicial (una substancia química) en su estatus final (un micro-organismo bio-químico). En este proceso histórico de «estabilización de la entidad» participan, según Latour (2001, cap. 4), el propio fermento, Pasteur, el laboratorio, la Academia de Ciencias, la sociedad, &c. Nos encontramos ante un «drama ontológico» (como lo califica) donde, por un lado, el hecho es fabricado por la acción humana, pero, por otro lado, debido a la solidez de la construcción resultante, el hecho se torna independiente, autónomo y real, remitiendo a la acción de algo no-humano. Latour contrapone el modelo del «constructivismo realista» que plantea a la visión clásica de las cosas, edificada sobre una disyuntiva entendida como exclusión: el fermento, o es real o es construido. La primera alternativa coincide con el realismo ingenuo, que contempla al científico como un mero descubridor del mundo exterior. Por contra, la segunda alternativa agrupa a todos los relativismos y, en particular, al relativismo social de sus colegas, que niegan toda actividad al mundo. Latour, en cambio, no concibe el par realismo-constructivismo como un dilema ante el que hay que elegir, sino como –podría decirse– un par de conceptos conjugados: el fermento es real porque es construido. El bricolaje científico articula proposiciones y cosas en una red, que cuando se estabiliza otorga una existencia relativa (no eterna o permanente) al fermento. Y esta articulación se hace, obviamente, en la historia, pues se radia a partir de un lugar y un tiempo concretos (laboratorio de Pasteur, 1857).

A resultas de esto, asoma una «ontología histórica», donde tiene sentido hablar de la historia de los objetos científicos. Ahora bien, el proceso histórico de estabilización de las entidades científicas conlleva

un procedimiento de «causalidad retrospectiva»: la objetivización de las entidades científicas implica una incesante revisitación y reconstrucción del pasado; porque, aparte del tiempo lineal que fluye hacia adelante, hay un tiempo sedimentario que se dirige hacia atrás. A la pregunta de si el fermento existía o no antes de Pasteur, Latour responde señalando que la visión tradicional vuelve a apoyarse sobre una disyunción excluyente. Si se contesta afirmativamente (el fermento existió siempre), se recae en el realismo ingenuo que asocia la ciencia con la naturaleza. Y si se contesta negativamente (el fermento existe desde Pasteur), se reincide en el relativismo que reduce la ciencia a la sociedad, a cultura. Para Latour, la modernidad se ha articulado sobre el dualismo Naturaleza/Sociedad o Naturaleza/Cultura, concebido unidimensionalmente sobre un segmento con dos extremos (hechos naturales – artefactos sociales). Pero, a su juicio, es necesario introducir una segunda dimensión, la dimensión histórica, mediante el trazado de un eje perpendicular relacionado con el tiempo que posibilitaría mostrar cómo evoluciona históricamente el gradiente de estabilización de las entidades científicas, cómo oscilan entre los artefactos y los hechos, cómo algunas logran transformarse en hechos naturales y otras fracasan en el empeño.

Según Hacking (1988a), Latour no es un *antirrealista*, como pueda serlo Van Fraassen, sino un *arrealista* o *irrealista*, vale decir, no niega la existencia de las entidades teóricas de la ciencia, pero sólo una vez que han sido construidas. Hacking (2002) muestra cierta simpatía por la ontología histórica que promete Latour, que indaga las condiciones de posibilidad del advenimiento de los objetos científicos, así como por la epistemología histórica que profesa Lorraine Daston, que concibe la objetividad como un predicado histórico y traza la biografía de los objetos científicos desde su nacimiento hasta el presente. Si la ciencia interviene activamente en el mundo, hasta el punto de que, más que averiguar cómo es el mundo, lo confecciona a su medida (Hacking: 1992), entonces cabe la duda de si la característica acción y producción ligada a la experimentación se reduce a un artificio humano o hay que actualizar la ontología. De hecho, Hacking (2002, 2) se autocalifica como «nominalista dinámico» o «realista dialéctico»; y acepta, por una parte, que múltiples fenómenos son, no ya un refinamiento o una purificación, sino una creación de los científicos y, por otra parte, que cada

estilo de razonamiento científico introduce una nueva clase de objetos así como invita a un nuevo debate ontológico sobre su realidad, es decir, sobre la realidad de los objetos matemáticos, las entidades físicas, las taxonomías biológicas, &c. (Hacking: 2009, 10 y 47). Sin embargo, Hacking se resiste a aplicar el constructivismo más allá de las ciencias humanas. Las enfermedades mentales serían, desde luego, una construcción; pero los quarks o los electrones no, ni mucho menos. En las ciencias naturales, se crean nuevos fenómenos, de acuerdo, como el láser o el efecto fotoeléctrico; pero los nuevos objetos, como el electrón o el fotón, no son una creación. Este reparo ha ocasionado que Latour le escriba lo siguiente a Hacking en una carta: «curiosamente tu visión materialista –con la que estoy de acuerdo– no incluye las nuevas entidades como el principal producto de los laboratorios, en este sentido soy más realista que tú» (Hacking: 1992, 36-37). Y tiene razón.

5. La teoría de Latour, muy atractiva, se nos aparece, no obstante, como desenfocada y falta de un eslabón: la doctrina ontológica del hiperrealismo, que da cuenta precisamente de las esencias terciogenéricas que determinan las ciencias. El sociólogo y filósofo francés ha pretendido superar la distinción maniquea Naturaleza-Cultura aportando una solución gráfica que incluye un eje ligado a una tercera variable: el tiempo. Nosotros vamos a hacerlo apoyándonos en la ontología ternaria del materialismo filosófico, que por principio no concibe unas esencias megáricas, refractarias e impermeables, sino unas esencias históricas, procesuales, que en el caso de la ciencia van poblando el mundo de nuevos entes: mismamente, el cielo que vemos hoy, en pleno siglo XXI, es aparentemente el mismo que observaron Platón y Aristóteles, pero contiene unos «estromas» totalmente distintos (planetas, estrellas y galaxias a distancias jamás soñadas por griegos y romanos). Desde luego, pueden trazarse correspondencias entre las teorías de Bruno Latour y Gustavo Bueno, pero correspondencia no quiere decir congruencia (el constructivismo o transformacionismo de Bueno es de corte filosófico-materialista, lo que conjura cualquier asomo de sociologismo).[38]

38 Aunque no la tocaremos, ya que el cauce de este libro es la gnoseología (fundada en la distinción Materia-Forma), la distinción epistemológica Sujeto-Objeto ha sido desbaratada por Latour introduciendo las cosas como agentes no-humanos (a pesar de que, como ha criticado Pickering, las cosas, a diferencia de los agentes humanos, carecen de intencionalidad)

La cuestión es, a saber: ¿cómo hacer compatibles *constructivismo* y *materialismo*? ¿Es posible combinar las ideas de construcción o transformación de la realidad y de verdad material? Sí, y la respuesta pasa por el hiperrealismo, «la tesis filosóficamente más comprometida de la teoría del cierre categorial», según reconoce Bueno (1992, 857). Las ciencias comportan un cuerpo, que contiene un momento gnoseológico (el espacio gnoseológico), pero también, dualmente, un momento ontológico (las cosas mismas), que remite a una realidad categorial. Las ciencias se refieren, desde luego, a la realidad, pero más que porque la describan o representen, «porque son ciertas partes de la realidad misma las que quedan incorporadas a las cadenas constitutivas del cuerpo científico» (1992, 900). Son partes externas a las ciencias las que se convierten, sufriendo una transformación, en internas.

Este es el núcleo del hiperrealismo, que va más allá del realismo natural y del relativismo social al postular que cada ciencia se traga ciertas partes de la realidad que procede a transformar, construyendo nuevas realidades como los números reales, los antibióticos, el electrón, el oxígeno o los organismos genéticamente modificados. Los teoremas científicos, desde el Teorema de Pitágoras a la teoría atómica o la biología evolutiva, comprometen en último término a la realidad, porque esta depende en muchas de sus partes de la estructura de esos teoremas. «El cuerpo de la ciencia, en tanto es idéntico a la ciencia misma, es un cuerpo con-formante, no es un montón de ladrillos» (Bueno: 1992, 870).

Gustavo Bueno (1992, 854-912) desarrolla la noción de «hiper-realismo» para poner de relieve que la realidad no es algo perfecto, acabado, sino algo infecto, *in fieri*, que se va haciendo. Porque el mundo no está dado de una vez por todas, ya que las ciencias y las técnicas, partiendo de los lineamientos arcaicos, contribuyen a cambiarlo y ampliarlo, conformando una suerte de realidad extendida o hiperrealidad que rebasa el ámbito de los fenómenos que se aparecen a los sentidos y se compone de una pluralidad de esencias, como las relaciones

y es barrenada por el materialismo filosófico atendiendo no sólo a los ejes circular y radial del espacio antropológico (como hace Latour) sino especialmente al eje angular, donde se sitúan los animales, de manera que son más bien multiplicidades de sujetos (humanos y no-humanos, zoomorfos) y multiplicidades de objetos los que se oponen unos a otros (Bueno: 1996c, Lectura II).

geométricas, las ondas electromagnéticas, los átomos o las especies. No hay por qué pensar que estos nuevos términos estaban ya presentes al conocimiento de los hombres del Paleolítico, con anterioridad a la cristalización de las ciencias. El hiperrealismo, por lo demás, acoge ampliamente el lado activo del idealismo del que habló Marx, pero no lo confina al plano de los conceptos y las ideas, enraizándolo en la materia (1992, 862). Por decirlo con las palabras de Marx y Engels en *La ideología alemana* cuando criticaban el materialismo contemplativo de Feuerbach:

> No ve que el mundo sensorial que le rodea no es algo directamente dado desde toda una eternidad y constantemente igual a sí mismo, sino el producto de la industria y del estado social, en sentido de que es un producto histórico, el resultado de la actividad de toda una serie de generaciones, cada una de la cuales se encarama sobre los hombros de la anterior [...] Hasta los objetos de la certeza sensorial más simple le vienen dados solamente por el desarrollo social, la industria y el intercambio comercial.

Las ciencias hacen, por tanto, partes del mundo.[39] Desde este marco de análisis, la ciencia no se reduce primariamente a una clase especial de conocimiento, sino que posee un papel determinante en la fábrica del mundo. No sólo a través de la tecnología o la ingeniería, capaces de transformar un paisaje como el que cada lector pueda tener ante sus ojos, dando paso a un mundo tecnificado, sino en un sentido mucho más radical. A través de nuevos aparatos como los radiotelescopios o los microscopios electrónicos, las ciencias contribuyen masivamente a la confección del mundo, a la formación de capas categorialmente distribuidas y la constitución de objetos, desde los muones o mesones a los enjambres de estrellas o nebulosas a millones de años luz (Bueno: 1992, 859 y ss.; 1996a, 57 y ss.). A la manera que el músico produce nuevos sonidos con el órgano que no existen previamente en

39 Hay que introducir un matiz: afirmar que las ciencias hacen el mundo –como un todo– es un abuso del lenguaje, porque las ciencias sólo hacen trozos del mundo. Por ejemplo: el electrón sólo aparece en un dominio acotado por los aparatos de la física atómica, de manera que extenderlo a todo el resto del mundo, aseverando sin precaución alguna que todos estamos compuestos de electrones es recaer en la metafísica, pues para comprobar este salto metafísico habría que introducir nuestro propio cuerpo bajo los aparatos y, por tanto, dentro del dominio de partida, del que no habríamos salido. Igualmente, un cúmulo de estrellas lejanas sólo aparece en el mundo recortado por los radiotelescopios y no en nuestro mundo mesocósmico a escala corporal (*mundus adspectabilis*), pues no podemos percibirlo independientemente. Por descontado, el problema de la conexión entre los trozos del mundo permanece abierto (entre otras razones, porque los «estromas» son cambiantes).

la naturaleza, el científico construye nuevas entidades –el matemático, los números reales o complejos; el biólogo, las células; el químico, el oxígeno; y el físico, los electrones– que hay que considerar *hiperreales*. Desde las coordenadas del materialismo filosófico, estas hiperrealidades no son descubrimientos manifestativos (nadie las había escondido), pero tampoco inventos: son «descubrimientos constitutivos», que provienen de la transformación de múltiples materiales y, por tanto, bajo ciertas condiciones que tienen que ver la neutralización de operaciones y el establecimiento de verdades como identidad sintética, son reales, a pesar de que su existencia no pueda imaginarse al margen de ciertos aparatos, ya que sin ellos son indetectables o incognoscibles:

> Los isótopos separados por el espectrógrafo de masas son objetos reales en tanto se hacen presentes a mi conocimiento, no ya, es cierto, a través de mi mera subjetividad psicológica, sino a través del aparato (que es, a la vez, un operador-separador y un relator); el sistema de «parábolas» o de «marcas» que ofrece el espectrógrafo no representa una realidad previa al aparato, puesto que ese «sistema» es, él mismo, una realidad, que se hace presente «canalizada» por la armadura del aparato, según relaciones que carecen por completo de sentido fuera de él. Pero el aparato forma parte del *cuerpo* de la física (Bueno: 1992, 870).

En suma:

> Los físicos nucleares nos ponen en presencia de un mundo material cada vez más sutil, pero cuyos habitantes están sometidos a las leyes de la física, porque solamente pueden ser determinados como fases de un proceso que partiendo de estados corpóreos sólidos (mineral de uranio, acelerador de partículas, &c.) vuelven otra vez, tras un ciclo de transformación, a veces catastrófico, a determinarse en estados corpóreos (desde Hiroshima hasta los rastros que una "partícula extraña" –un hiperón, un mesón K– deja, cuando choca con un protón o con un electrón, sobre una emulsión fotográfica) (Bueno: 1972, 30-31).

Ahora bien, al hilo de las estructuras constituidas por las ciencias, Bueno (1992, 903-904) se pregunta partiendo de un ejemplo concreto:

> ¿Cómo puede atribuirse a la realidad misma (entendida como algo que es independiente de las manipulaciones humanas) la estructura de la relación de constancia del calor atómico? Tal estructura (y no solo, desde luego, la tabla o gráfico en la que se expresa) sólo puede conformarse cuando previamente se hayan construido los conceptos de los pesos atómicos (que implican una medición de los diferentes elementos, respecto del hidrógeno, tomado como

> unidad) y de los átomos-gramo (que tampoco están dados en la Naturaleza: tan artificiosa o «cultural» es la composición de los materiales en unidades de átomos-gramo de litio, hierro o uranio, como pueda serlo la composición de las sílabas del español en unidades de versos endecasílabos constitutivos de un soneto).

Ciertamente, la diferencia radica en que las estructuras químicas posibilitan regresar a un plano α-operatorio (al margen de los sujetos operatorios), donde pueden entretejerse con otras estructuras matemáticas, físicas o geológicas dadas también al margen de la intervención humana, mientras que las estructuras literarias nunca desbordan el plano β-operatorio, ya que las operaciones del sujeto –empezando por las del autor– no pueden ponerse entre paréntesis (los sujetos operatorios figuran como términos obligados del campo gnoseológico literario). Mediante la neutralización de operaciones propia de algunos cierres científicos, las ciencias no es que trasciendan el horizonte del sujeto, sino que segregan los componentes subjetivos que inundan ciertas figuras del espacio gnoseológico (operaciones, fenómenos, normas, autologismos y dialogismos) y regresan hacia otras figuras que abren el camino a la objetividad (términos, referenciales, relaciones y esencias). El trato con los componentes subjetivos, como los fenómenos, ineludibles para el desenvolvimiento de las ciencias, nos mantiene, por refinado que sea, en el frágil terreno de un mundo al albur de la subjetividad inmediata. Únicamente al sintetizar identidades, cuando dos o más cursos operatorios independientes engranan con mayor o menor fortaleza, cabe reconocer que las contingencias subjetivas que condujeron a cada uno de ellos por separado pueden ser desprendidas, eliminadas. No obstante, continúa Bueno (1992, 905):

> La neutralización de las operaciones no autoriza a retrotraer las estructuras constituidas a situaciones previas a su constitución, y la ilusión de esta retroposición es el resultado de un espejismo. En efecto, si podemos aplicar la ley de Dulong y Petit a sustancias dadas en yacimientos arqueológicos o cósmicos anteriores al siglo XIX y, basándonos en ella, hacemos cálculos referidos al precámbrico, pongamos por caso, ello sólo puede ser debido a que estamos conformando ese «paisaje precámbrico» con nuestras unidades artificiosas de átomos-gramo y calorías. El carácter natural de las estructuras fenoménicas, tales como la que nos ofrece el teorema de la constancia del calor atómico, no depende de que ellas preexistan a la ciencia química, sino de que, aun constituidas por esa ciencia, engranen con terceras estructuras (en parte también constituidas por la ciencia) de modo objetivo, es decir, sin intervención de las operaciones humanas.

Arribamos así al problema de la hipóstasis de los objetos científicos en el tiempo: ¿cómo se emancipan los objetos construidos del sujeto gnoseológico? «Son las ciencias las que *constituyen* y *proyectan* objetos tales (nebulosas transgalácticas, estados ultramicroscópicos, rocas precámbricas...) que piden una emancipación e hipóstasis mucho más enérgica de la que se necesita para dar cuenta de la percepción ordinaria precientífica de nuestro entorno actual» (Bueno: 1992, 861). Los objetos científicos se nos imponen, incluso como dados fuera de nosotros en un periodo precámbrico, es decir, anterior a la existencia de toda subjetividad orgánica proyectante. Una vez construidas, las esencias científicas exigen ser reconocidas como preexistentes. Los descubrimientos científicos son, más que revelaciones puntuales, procesos constitutivos, cuyo resultado se extiende en el tiempo tanto hacia delante como hacia atrás. Lo construido científicamente puede llegar a ser ontológicamente tan fuerte como los cuerpos que vemos y tocamos.

Abundemos en el ejemplo del «paisaje precámbrico», previo a la explosión de vida en la Tierra (Bueno: 1992, 1423-1424; 2016, 148 y 183). Este paisaje es, por definición, inobservable; pero, a partir de las escasas reliquias conservadas en forma de fósiles y rocas, los científicos lo reconstruyen. Aceptado esto, conviene advertir que no es el Hombre en general el que conforma el Mundo y las fases que le han precedido (el Cámbrico, el Precámbrico y, si nos remontamos al origen del Cosmos, el *Big Bang*). Son hombres de una determinada civilización quienes, asentados en configuraciones del Mundo presente, las retrotraen al pasado. Por consiguiente, ese escenario precámbrico se nos dibuja poblado de artefactos, tanto o más que de objetos puramente naturales. En efecto, para reconstruirlo se emplean múltiples conceptos científicos (divisiones temporales, clasificaciones geológicas, conocimientos químicos, &c.) forjados cientos de millones de años después. Difícilmente puede concebirse como una suerte de panorama latente, esperando a ser descubierto (sencillamente porque ese lugar ya no existe). Aunque quepa hablar del paisaje precámbrico (cuando no había hombres ni animales para percibirlo), hay que reconocer las limitaciones de este modo de hablar, pues no cabe abstraer el papel que los filtros de percepción animales y humanos juegan en la construcción del entorno.

Es lo mismo que ocurre, como ya comentamos, con cualquier entidad científica del estilo de las partículas subatómicas, que comienzan a preexistir justamente cuando son construidas como hiperrealidades en el laboratorio, por medio de un recorte del mundo operado con aparatos fabricados por el hombre (como el tubo de rayos catódicos o los aceleradores de partículas). Pero lo mismo también sucede con las Leyes de Newton (cuyo concepto de masa presupone las balanzas, que son una construcción humana) o con los efectos físicos. Estos efectos (como el efecto Venturi) no existen en principio fuera de ciertos aparatos (el tubo de Venturi); pero, como consecuencia de la incorporación de partes de la realidad al cuerpo de la física, encuentran aplicación en la industria (fabricación de aviones o coches de fórmula 1) e, incluso, la estructura esencial subyacente se extiende y circula a la naturaleza, suponiéndose detrás de su funcionamiento (el efecto Venturi, en conjunción con el Teorema de Bernoulli y la Tercera Ley de Newton, se termina «re-conociendo» *a posteriori* como el fundamento del vuelo de las aves o los insectos).

Todas estas esencias presentan una independencia estructural –como corolario de la neutralización de los nexos subjetuales– pero no una independencia genética. El materialismo filosófico se refiere a esta circunstancia paradójica con el nombre de *dialelo antropológico*: es imposible por principio regresar a un momento en que el hombre no estaba constituido sin partir de la situación presente, es decir, armados con todo el bagaje de nuestro siglo (Bueno: 1996c, Lectura II). Hay que presuponer dadas toda una serie de esencias científicas determinadas históricamente por el propio hombre (los elementos químicos, las Leyes de Newton, el efecto Venturi), en una suerte de petición de principio, porque sólo de esta manera logramos reconstruir el pasado. Así, podemos estudiar la formación de las primeras bio-moléculas, pero apoyándonos en los saberes de nuestro tiempo, en la química del carbono, cuyo cierre se produjo a caballo entre los siglos XIX y XX: los bioquímicos apuntan que los sillares estructurales de estas bio-moléculas presentan un peso molecular relativamente bajo, pero el concepto de peso molecular precisa de las ultracentrifugadoras, que son un invento del siglo pasado, de 1923.

Resta un interrogante, y es encuadrar las esencias que determinan las ciencias dentro del dilema Naturaleza-Cultura. ¿Cómo es posible

que la ciencia dependa tanto de la cultura y, sin embargo, produzca resultados tan sólidos, que pasan por naturales? No cabe duda de que la sociedad ejerce sobre la ciencia una acción directiva (el estado del mundo funciona como aguja indicativa de los fenómenos sobre los que ejercer dominio), limitativa (cada época sólo se plantea los problemas que puede abordar) y, lo que más importante, *conformativa* o *de impronta*: cada época sólo dispone de una serie de técnicas, tecnologías y artefactos accesibles, que conforman el desarrollo de las ciencias (Bueno: 1992, 301-302). Es así que la sociedad orienta el alcance (ontológico) de la ciencia. Ciertas proteínas, el agua pesada o el uranio enriquecido son productos fáciles de producir hoy día, en el siglo XXI; pero su fabricación era imposible en los albores del siglo XVII, dado que se carecía de la cultura instrumental adecuada. Gustavo Bueno (1992, 300) reinterpreta la fórmula del materialismo histórico («la conciencia humana está determinada por el ser social del hombre») de la siguiente manera: «la conciencia de los problemas científicos y filosóficos, así como el planteamiento de los mismos, está determinada por el estado del mundo precursor». No hay que olvidar que los sujetos gnoseológicos no están flotando en el vacío, sino que están inmersos en un medio social específico (dicho esto sin perjuicio de señalar que si una ciencia cierra, corta amarras con la sociedad que la produjo, a la manera que la física atómica es hoy tan independiente de la guerra nuclear y del ambiente acausalista de la República de Weimar como la mecánica clásica lo es de la balística de cañones y el puritanismo protestante).

Las ciencias contribuyen, como va dicho, al propio hacerse del mundo generando realidades de distinto género, que son clasificables desde la teoría del espacio antropológico –no confundir con el espacio gnoseológico– del materialismo filosófico (Bueno: 1996c, Lectura II). Tenemos configuraciones circulares o *sociofactos* (instituciones como un laboratorio o una facultad de química), configuraciones angulares o *nematologías* (nebulosas de creencias o ideologías) y, por último, configuraciones radiales, que se desdoblan en *trazos* (morfologías que tendemos a adscribir al mundo cosmológico: un ecosistema, un cultivo bacteriológico, la Luna…) y *artefactos* (configuraciones propias no del mundo cosmológico sino del mundo tecnológico, como un compás, una balanza, un cromatógrafo, un decantador…). Sin embargo, reviste

especial interés clasificar ontológicamente algunos trazos, aquellos que podemos poner en correspondencia con ciertas esencias o estructuras esenciales del espacio gnoseológico (como el electrón, los elementos químicos o un cuásar), que conforman eso que hemos llamado hiperrealidad, la ampliación de la realidad a través de los aparatos que construyen las ciencias.

Por un lado, estas hiperrealidades no son necesariamente naturales. Sirva como ejemplo que el plutonio-239 (u otra «tierra rara») se produce en los reactores nucleares, pero es casi inexistente en la naturaleza. Y es que lo natural no siempre tiene cabida en el laboratorio, donde las sustancias químicas aparecen purificadas y enclasadas, el agua está destilada, las plantas y las ratas son criadas selectivamente, &c. ¿Acaso una balanza de torsión, un tubo de descarga o un ciclotrón no son tan artificiosos como el órgano de una catedral? El medio científico, con sus textos, gráficos e instrumentos, se distingue por ser una realidad artificial y fabricada. Pero, por otro lado, las hiperrealidades tampoco son meramente culturales. Resultan de las operaciones de los científicos, pero no por ello son arbitrarias, por cuanto su construcción no es libre ni *ex nihilo*, sino que viene limitada por las propiedades de la materia que se compone y que opone resistencias (en el caso del plutonio-239, por el uranio, su capacidad para capturar neutrones y su posterior desintegración beta). Por hábil que sea el obrero, su libertad está siempre condicionada por la materia prima con que trabaja. Con palabras de Bueno (2004a, 218):

> La física o la biología, a través de laboratorios artificiosos («sofisticados», suelen decir quienes leen traducciones de libros anglosajones) resultantes de una cultura refinada, nos ponen delante de estructuras objetivas que *al menos cuando son tenidas por verdaderas, no son llamadas culturales* [...] Cabría decir, en general, por ejemplo, que los resultados de las ciencias físico-naturales o matemáticas, cuando son verdaderos, dejan de ser culturales y sólo pueden seguir considerándose como culturales aquellos resultados no verdaderos.

Pero, entonces, si estas estructuras no son llamadas culturales, ¿habría que llamarlas naturales?

> No siempre. Y solamente cuando la oposición entre Naturaleza y Cultura se sobreentienda (metafísicamente, por cierto) como una oposición disyuntiva parecería que ello es imposible. Pues hay conformaciones objetivas que no

> cabe situar ni entre la «Naturaleza» (en el sentido cósmico) ni entre la «Cultura» (en el sentido antropológico). [...] ¿Habría que concluir, como sugiere Bachelard, que la química debe ser considerada como una ciencia cultural, en tanto que se ocupa de objetos culturales, de «creaciones del hombre»? No, si no nos sentimos aprisionados, como lo estaba Bachelard, por la disyunción Naturaleza/Cultura. […] Además del caso de los «objetos químicos» hay otras situaciones en las cuales no sería posible hablar ni siquiera de estructuras vinculables a la serie de las estructuras naturales (como puedan serlo los elementos de la tabla periódica que se producen efímeramente en un acelerador de partículas), aunque tampoco sean culturales. Me refiero al caso de las estructuras matemáticas […] Son estructuras transculturales, noemáticas, terciogenéricas (Bueno: 2004a, 219-220).

Las ciencias, en cuanto procedimientos de construcción, son contenidos culturales. Pero las dificultades comienzan cuando nos referimos a los resultados de esos procesos de construcción, a las estructuras esenciales que han segregado de su trama a los hombres. Si son culturales, ¿a qué cultura pertenecen? ¿Acaso el Teorema de Pitágoras no se desprendió de la cultura griega y es válido para todas las culturas? Y si son naturales, ¿dónde están? ¿Acaso los números *naturales*, los triángulos rectángulos, el tecnecio o algunos productos químicos fabricados industrialmente –como la baquelita– se encuentran en la naturaleza? Es la disyuntiva, aplicada al mundo real, «o Naturaleza o Cultura», la que tiene que ser desbordada por superficial (Bueno: 1996a, 54-55). Estos contenidos forman parte de una tercera clase más allá de la Naturaleza y de la Cultura. No son en general materialidades primo- ni segundo-genéricas, sino tercio-genéricas, necesidades lógicas de la actividad científica, por así decir, pero que pueblan el mundo de nuevos términos. La mayoría de ellos –como los electrones o las bacterias– inobservables a simple vista (no son referenciales fisicalistas), pero manipulables mediante aparatos para conseguir efectos asombrosos dentro de nuestro *mundus adspectabilis* –como la electricidad o los antibióticos–.

En resumen, como indica Bueno (2005, 51-52), que la ciencia sea una institución no quiere decir que se reduzca sin residuo como fragmento de ese todo complejo que llamamos Cultura, y no sólo porque algunas partes suyas hayan de considerarse pertenecientes a la Naturaleza, sino porque los núcleos (ontológicos y gnoseológicos, reales y verdaderos) de las ciencias, las esencias y los teoremas, rebasan la Naturaleza y la Cultura, conformando M_3. Estamos ante estructuras transnaturales y

transculturales, lo que obliga al materialismo filosófico a hablar de un tercer género de materialidad M_3 surgido de la dialéctica entre M_1 y M_2. Los objetos científicos son mayormente culturales en su génesis; pero, si los científicos logran construir ese tipo de composiciones idénticas que hemos denominado verdades mediante la neutralización de las operaciones de los sujetos gnoseológicos (consistente, pongamos por caso, en comprobar que la interacción con el objeto es reproducible, intersubjetiva, impersonal y no depende de distorsiones o aberraciones de los aparatos implicados), los objetos experimentan una progresiva separación de la Cultura, que no ha de entenderse obligatoriamente como un acercamiento progresivo a la Naturaleza, porque, por ejemplo, ¿qué sentido tiene alojar los elementos químicos entre las cosas naturales cuando hace algunos miles de millones de años muchos de ellos ni siquiera se habían formado (y esto por no mencionar otra vez el tecnecio o el plutonio)? Estos objetos, híbridos de Cultura y Naturaleza, se moldean como materialidades terciogenéricas (que siempre han de estar en conexión con analogados primogenéricos, con los cuerpos).

La exploración filosófica de las últimas páginas, que algunos podrían calificar de colindante con la metafísica (porque no quieren dejar de hacer ciencia, sociología o doxografía y prefieren estancarse, sin apercibirse de que la ciencia moderna no permite omitir la elaboración de una gnoseología que arbitre qué es la verdad y vaya vinculada a una ontología característica), tiene consecuencias. Desde el materialismo filosófico, no podrá ser acusado de etnocentrismo quien reconozca y defienda la universalidad del Teorema de Pitágoras, como elemento desprendido, no ya de la cultura griega, sino de toda cultura, como estructura válida para todas las culturas, por encima de cualquier relativismo (Bueno: 2002). La ciencia, aunque haya surgido en una cultura muy concreta (la cultura occidental de tradición grecolatina), aunque haya nacido en un determinado Estado o Imperio, es universal, «común a todos los pueblos». Pero, si es universal, entonces, una vez constituida, la ciencia, en algún sentido, no forma parte de la cultura, ya que la cultura es siempre «cultura particular». Y esto es lo que Latour con su aproximación empírica es incapaz de vislumbrar, ya que no dispone de una ontología acabada que le capacite para reconocer las conexiones objetivas entre cursos científicos por encima de su carácter ocasional y contingente (para Latour, el

occidental puede creer en la universalidad de la ley de la gravedad del mismo modo que los nativos de Nueva Guinea pueden creer que ellos son la humanidad entera). La ciencia como hacer, y no sólo como saber (la de los manuales), es una empresa social pero, sobre todo, material. No es un producto lingüístico, un conjunto de textos, porque la vemos obrar diariamente ante nuestros ojos (cohetes, microondas, ordenadores, &c.). Sólo la perspectiva materialista permite escapar de la prisión idealista:

> La «liberación de la Cultura» requiere no sólo romper su cascarón, sino también el cascarón que envuelve a la mítica «Naturaleza», únicamente después de estos rompimientos podremos acaso poner la proa «con las velas desplegadas» hacia eso que llamamos la Realidad (Bueno: 2004a, 240).

Estamos en condiciones de iniciar el análisis filosófico de la cosmología.

Entreacto
Crónica de un debate inconcluso

En una sesión del XIII Congreso Internacional de Teoría y Metodología de las Ciencias celebrado en México D.F. se reunieron cuatro prominentes filósofos de reconocido prestigio: Vivian Darkbloom (autor de *Ciencia y Realidad: La física como representación del mundo*), Adam Krug (autor de *Descripción de datos empíricos en leyes físicas*), Clare Quilty (autor de *Salvando los fenómenos. Una historia de la teoría física*) y Gustaff Goodman (autor de *Materialismo y Ciencia*). El autor de estas líneas ha tenido acceso a una cinta de audio en que quedó grabada su discusión. A continuación transcribimos un fragmento del debate:

Vivian DarkBloom: Creo que la función de la ciencia es conocer el mundo. La física, como toda ciencia, busca la verdad. Con esto quiero decir que la física busca adecuarse a la realidad. Las teorías físicas pretenden representar el mundo con la mayor verosimilitud posible.

Adam Krug: Perdona, Vivian, pero no entiendo qué quieres decir con «adecuarse». ¿Qué y con qué? ¿La teoría con la realidad? No sé qué puede significar eso. Afirmar que las leyes físicas representan el mundo carece de sentido. Las ecuaciones de la física no son más que descripciones de hechos empíricos observables. Ni más ni menos.

Vivian DarkBloom: Pero, Adam, ¿acaso ha abandonado la ciencia la aspiración a la verdad, a conocer las cosas tal como son?

Adam Krug: Sí. A la ciencia le es suficiente con constatar el éxito empírico. Imponer la búsqueda de la verdad es condenarla a correr en pos de una meta inalcanzable.

Clare Quilty: Adam, coincido contigo en criticar el romanticismo de Vivian. El éxito no es garantía de verdad. Pero no comparto tu empirismo. Hablas de los hechos como si existieran independientemente de las teorías. Tengo que recordarte que toda observación está cargada de teoría. Lo observable no puede separarse y distinguirse claramente de lo teórico. En física, las teorías pesan más que los hechos. La física progresa en la medida en que persigue teorías que salven los fenómenos que son accesibles desde esas teorías.

Gustaff Goodman: Muy bien, amigos, antes de que desplacéis por completo la discusión, yo querría hacer un comentario sobre vuestras intervenciones. No habláis más que de teorías, representaciones, descripciones, cargas teóricas... ¡Como si la ciencia se hubiera replegado al terreno del conocimiento logoteorético! La ciencia conlleva actividad. Es una praxis.

Clare Quilty: Pero, Gustaff, la práctica científica precisa de teorías...

Gustaff Goodman: Desde luego, pero las teorías científicas son bastante más que conjuntos de fórmulas, porque presuponen los aparatos, las entidades y los procesos causales válidos dentro de su dominio experimental. Las teorías, para que tengan sentido, están cargadas de prácticas. Los físicos no se conforman con teorías que salven los fenómenos, quieren teorías que hagan múltiples predicciones sobre el mundo y, sobre todo, que permitan manipularlo de diversas maneras. No podéis desconectar la física teórica de la física experimental. Olvidar que la técnica es la «madre» de la ciencia nos conduce a una metafísica intratable, porque la ciencia no está en los libros sino en los laboratorios. Las ciencias no sólo cambian nuestra imagen del mundo, cambian el propio mundo.

Parte II
Del estrato filosófico al estrato científico

Capítulo 18

Filosofía(s) de la Cosmología

1. La estructura de este opúsculo es circular. Partimos de las ciencias en marcha (física y matemáticas) y, dándolas por presupuestas, *regresamos* a la filosofía de la ciencia, buscando qué ideas filosóficas se desprenden de los problemas, métodos, descubrimientos e inventos científicos. Esto ocupó la primera parte del libro, titulada *Del estrato científico al estrato filosófico*. Comenzamos repasando la idea, adoptada por los científicos y filósofos adecuacionistas (Galileo, Einstein, Penrose, Giere, Kitcher, Worrall), tan influyentes en este siglo como en los otros, de que la ciencia consiste en una serie de teorías que representan la naturaleza en sí misma. Esta caracterización de la ciencia lastraba mil y una dificultades. Los descripcionistas (el Círculo de Viena, Van Fraassen) mantuvieron, por el contrario, que la ciencia es especial porque se deriva de hechos. Sin embargo, esta concepción enseguida se desmoronó, porque los hechos dependen de las teorías. Los teoreticistas (Popper, Kuhn, los sociólogos del conocimiento científico) han centrado toda su atención en el armazón teórico de la ciencia, pero enredados en la madeja teoricista se han quedado sin recursos para elucidar su contacto con la realidad. En cambio, los circularistas (Hacking, Latour, Bueno) intentan evitar estas trampas alejándose de estas visiones extremas de la ciencia que no encajan con uno de sus componentes distintivos, como es el de la práctica experimental. Se imponen, pues, los grises que median entre el blanco del realismo más

metafísico y el negro del instrumentalismo más relativista; se impone, en suma, navegar entre Escila y Caribdis.

Ahora, una vez que tenemos forjado un mallado de ideas filosóficas acerca de la ciencia, una teoría de teorías de la ciencia, y nos hemos comprometido con una de ellas, con la teoría del cierre categorial de Gustavo Bueno y su piedra angular, que es el hiperrealismo materialista, *progresaremos* desde la filosofía *general* de la ciencia a la filosofía *especial* de la ciencia. A esto se dedica la segunda parte del libro, denominada *Del estrato filosófico al estrato científico*. En esta vuelta a las ciencias, tomaremos la cosmología como parámetro de nuestro análisis, ya que esta ciencia es la supuesta clave de bóveda del arco científico. La «cosmología» (el término proviene, curiosamente, del metafísico alemán Christian Wolff, que lo utilizó por vez primera en su obra *Cosmologia generalis* de 1731) se define vulgarmente como el estudio científico del Universo a gran escala, de su origen, evolución y destino.

2. Pero la propia pregunta «¿qué es la cosmología?» es una pregunta filosófica, y ningún cosmólogo puede alegar que la presencia del filósofo es una intromisión, como la del perro que mete el hocico en nuestros tobillos. La tarea de dar una respuesta a la pregunta «¿qué es la cosmología?» desborda el campo de los saberes cosmológicos (físicos, matemáticos, &c.), porque no es propiamente científica sino de estirpe filosófica. En efecto, los cosmólogos pueden fingir neutralidad en relación con los presupuestos filosóficos, pero en su respuesta están actuando ciertas premisas filosóficas, una idea de ciencia más o menos sistematizada, configurada al rasante de su filosofía espontánea de la ciencia. Dicho de otra manera, resulta posible, les guste o no, coordinar su visión panorámica de la cosmología, su filosofía de la cosmología, con alguna de las filosofías de la física o de las matemáticas presentadas en la Parte I. Veamos.

Steven Weinberg, por ejemplo, se ha pronunciado en numerosas ocasiones contra la filosofía o, más bien, contra aquellas filosofías que no abrazan un realismo científico ingenuo, pero con ello no ha hecho más que probar el adecuacionismo latente en su filosofía espontánea de científico. Para Einstein, según dejó escrito en la contestación a sus críticos contenida en el volumen colectivo *Albert Einstein: filósofo-científico*, publicado en 1949, el científico era un camaleón filosófico, un

oportunista a ojos del epistemólogo, que tan pronto se presenta como un realista que cree describir un mundo independiente, un idealista que contempla las teorías científicas como libre invención del espíritu humano, un positivista que se ciñe sólo a lo observable o un platónico o pitagórico que considera que la belleza, la simetría y la simplicidad son cualidades necesarias de las leyes científicas. Un cosmólogo contemporáneo que parece seguir el *dictum* einsteiniano es Stephen Hawking, que en un mismo libro puede defender que es realista, en el sentido de creer que hay un Universo ahí fuera esperando ser conocido, como aceptar que en física no se puede distinguir qué es real sin una teoría detrás, sin un modelo matemático elegante que describa y prediga una amplia clase de observaciones (lo que unas veces le lleva a autodefinirse como «positivista» y otras veces como «realista dependiente del modelo»), para terminar después imaginando una teoría final o «Gran Diseño» que estaría en la mente de Dios y con la que la Humanidad culminaría una búsqueda que se remonta a más de tres mil años.

En esta línea, el cosmólogo británico, sobrevalorado como sabio por unos medios de comunicación y una audiencia globalizada que lo refuerzan en cada una de sus apariciones motorizadas, declaró no ha mucho lo siguiente:

> Viviendo en este vasto mundo, que a veces es amable y a veces cruel, y contemplando la inmensidad del firmamento encima de nosotros, nos hemos hecho siempre una multitud de preguntas. ¿Cómo podemos comprender el mundo en que nos hallamos? ¿Cómo se comporta el Universo? ¿Cuál es la naturaleza de la realidad? ¿De dónde viene todo lo que nos rodea? ¿Necesitó el Universo un Creador? La mayoría de nosotros no pasa la mayor parte de su tiempo preocupándose por esas cuestiones, pero casi todos nos preocupamos por ellas en algún instante. Tradicionalmente, esas son cuestiones para la filosofía, pero la filosofía ha muerto. La filosofía no se ha mantenido al corriente de los desarrollos modernos de la ciencia, en particular de la física. Los científicos se han convertido en los portadores de la antorcha del descubrimiento en nuestra búsqueda del conocimiento (2010, 11).

Esta muestra de atrevido y un tanto penoso «fundamentalismo científico» muestra a las claras una determinada posición ya filosófica de partida, marcada por un monismo gnoseológico y ontológico incompatible con la asunción de un pluralismo materialista que, según abundaremos en el capítulo de conclusiones, reconozca la multiplicidad de las ciencias y se cuide de caer en el mito del Cosmos, es decir, en

identificar el Universo que estudia la cosmología con la realidad al completo, porque aquel no es sino otra provincia o región ontológica más. Pero para Hawking (como físico que es) todo es física, al igual que para Severo Ochoa (como químico que era) todo era química. Pero estas aseveraciones no son científicas, porque no se derivan de ninguna ciencia concreta, sino que son estrictamente filosóficas y si no vienen apoyadas por una argumentación filosófica no pasan de ser opiniones gratuitas, aunque los que las profieran sean reputados científicos.

3. Habida cuenta de todo esto, el análisis de la cosmología ha de tomar en consideración los resultados científicos, los estudios históricos, sociológicos y epistemológicos, incluso la filosofía espontánea de los cosmólogos, pero la pregunta «¿qué es la cosmología?» es en último término una pregunta gnoseológica (indisolublemente ligada a la ontología). En cuanto ciencia, la cosmología no es una institución monoaxial, constituida exclusivamente –pongamos por caso– por componentes del eje pragmático, al margen de los ejes sintáctico y semántico. La pregunta formulada no es, por tanto, meramente sociológica. Ni tampoco epistemológica, porque la cosmología no se reduce a un cúmulo de conocimientos, ya que no puede darse cuenta de todos sus contenidos desde el dualismo sujeto-objeto, como si un telescopio no fuese más que una prolongación de los ojos y la cosmología no rebasara la frontera del sujeto poniéndonos ante contenidos tan heterogéneos como objetos imperceptibles, diagramas, máquinas... En este sentido, la perspectiva gnoseológica, centrada en el binomio materia-forma, aspira a desbordar los marcos sociológico y epistemológico, concibiendo la cosmología como una institución histórica, procesual, centrada en la composición de una clase de identidades entre partes materiales de la realidad que denominamos verdades. Es la comunidad cosmológica o los cosmólogos individuales los que tienen que ser vistos –si es posible– a través de las verdades que determina la cosmología y no al revés. Pero tanto los sociólogos como los epistemólogos, e incluso los propios científicos (que están más preocupados por que las cosas funcionen), omiten la elaboración de una gnoseología de la cosmología (unos porque no pueden, dejarían de hacer sociología; otros porque no quieren, dejarían de reducir la teoría de la ciencia a teoría del conocimiento). Nuestra tarea es, en suma, ensayar una filosofía materialista de la cosmología.

Capítulo 19

Breve historia de la cosmología: de Laplace a Einstein y el Big Bang

1. La mayoría de historias de la cosmología arrancan relatando las principales cosmologías presocráticas (Tales, Anaximandro, &c.), a la manera que las historias de la química se inician con frecuencia refiriéndose al atomismo de Demócrito, obviando con ello que tanto Tales como Demócrito carecían de una serie de técnicas y ciencias consolidadas sobre las que apoyar sus especulaciones. Nuestro bosquejo histórico de la cosmología quiere, por contra, arrancar con el físico y matemático francés Pierre-Simon de Laplace. Los primeros intentos «científicos» por comprender el origen del mundo suelen retrotraerse a Buffon, Kant y Laplace. Pero sólo este último planteó su célebre hipótesis nebular respaldado por la mecánica newtoniana y su aplicación global al Sistema del Mundo, que por aquel entonces –a caballo entre los siglos XVIII y XIX– se reducía, excluyendo la bóveda de estrellas fijas, al Sistema Solar (Madrid Casado: 2012).

Es cierto que muchos autores consideran dentro de la historia de la cosmología física, no sólo a las cosmologías míticas y teológicas, sino también a Ptolomeo y Copérnico; pero con ello obvian que la cosmología no se reduce a describir el funcionamiento de los cielos (lo que hace la astronomía), sino que aspira a explicar el origen del mundo. A resultas de esto, la cosmología científica no surge hasta que la «inversión teológica» se ha consolidado, es decir, hasta que el Dios cristiano ha dejado de ser un tapón para explicar de otro modo

la creación del Cosmos. Por otra parte, abundando en lo ya dicho, tanto el modelo ptolemaico como el modelo copernicano se apoyaban fundamentalmente en la geometría, con lo que difícilmente pueden considerarse como capítulos de la historia de la cosmología física.

2. Si durante una hermosa noche despejada se sigue el espectáculo del cielo, se le ve cambiar a cada instante. Entre ese infinito número de puntos rutilantes de luz que salpican la bóveda celeste hay un puñado de astros que cada noche se mueven con respecto al fondo de estrellas fijas y cuyo movimiento está siempre comprendido en una franja estrecha de la esfera celeste denominada zodiaco, que rodea a la trayectoria por la que transcurre el Sol (la eclíptica). Son los *planetas* (etimológicamente: los astros *errantes* o *vagabundos*). A los visibles a simple vista (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno), se unió en el último cuarto del siglo XVIII uno nuevo descubierto con ayuda del telescopio. Británicos de adopción, aunque alemanes de origen, los hermanos Herschel, William y Carolina, formaron un tándem excepcional en la exploración del espacio profundo armados con los potentes telescopios que ellos mismos inventaron. El 13 de marzo de 1781 William Herschel, infatigable observador de estrellas, localizó un nuevo astro en el cielo. Primeramente pensó que se trataba de un cometa, ya que a diferencia de las estrellas lejanas no estaba fijo, pero el astrónomo sueco Anders Johann Lexell demostró geométricamente que el nuevo astro seguía una órbita elíptica alrededor del Sol coplanaria con la del resto de planetas. Era el primer planeta telescópico, no visible a simple vista, y el más exterior de los hasta ahora conocidos: Urano. Descubrir un nuevo morador del Sistema Solar fue algo sensacional, porque el número de planetas permanecía invariable desde hacía milenios, desde los antiguos griegos.[40] Y a la lista de

40 El estudio de las desviaciones en la trayectoria de los planetas jugó un papel fundamental en la predicción de nuevos moradores del Sistema Solar, antes de que el telescopio los vislumbrara. Andado el tiempo, conduciría al descubrimiento de Neptuno, en 1846, y por casualidad de Plutón, en 1930, en las regiones más externas del Sistema Solar. Partiendo de una inadecuación entre la posición de Urano predicha por la teoría newtoniana de la gravitación y la realmente observada, se llegó a la conclusión de que tenía que estar causada por las perturbaciones de otro planeta aún más alejado. La predicción realizada por los astrónomos Adams y Le Verrier fue confirmada en la noche del 23 de septiembre de 1846 por el astrónomo Johann Galle del Observatorio de Berlín. Había nacido Neptuno. Curiosamente, Le Verrier siempre pensó que las anomalías en el movimiento de Mercurio también podrían explicarse postulando otro nuevo planeta entre el Sol y Mercurio, llamado Vulcano, que perturbaría la órbita de aquel. Sin embargo, la búsqueda sería infructuosa, aunque hubo quien

los planetas telescópicos, sólo visibles con lentes potentes, se unieron a principios del siglo XIX los *planetoides* o *asteroides* (Ceres, Palas, Juno, Vesta…).

En la *Exposición del Sistema del Mundo* (1796), Laplace se remontó desde los movimientos aparentes de los planetas a sus movimientos reales. De las apariencias a la realidad. Y subrayó que sólo en la teoría del Sistema del Mundo había logrado el espíritu humano ascender esa empinada escalera, elevarse a partir de las ilusiones de los sentidos… ¡al igual que el cosmólogo del grabado con el que se abre este libro! Por esta y otras razones –el sustento del tratado sobre la mecánica de Newton– consideramos la *Exposición del Sistema del Mundo* de Laplace como la primera obra cosmológica en sentido estricto.

Todos los astros parecen moverse respecto a la Tierra. Es el modelo geocéntrico que perfeccionó Ptolomeo, y en el que los planetas describen complicados epiciclos y deferentes circulares en torno a la Tierra. Pero para explicar con mayor precisión y simplicidad las retrogradaciones de algunos planetas, como Marte (que en su trayectoria a lo largo del cielo forma regularmente bucles con respecto a las estrellas de fondo), Copérnico y, posteriormente, Kepler construyeron un modelo geométrico alternativo para los mapas celestes. Es el modelo heliocéntrico, en el que tanto la Tierra como el resto de planetas describen círculos (Copérnico) o elipses (Kepler) en torno al Sol. Esto explicaba las retrogradaciones que atormentaban a los astrónomos ptolemaicos de manera muy sencilla: la Tierra viaja alrededor del Sol más rápidamente de lo que lo hace Marte, de modo que al adelantarlo Marte parece moverse hacia atrás durante algunos meses. No es más que un efecto óptico.

Tras explicar esto, Laplace repasaba algunos sucesos celestes extraordinarios, como la aparición de cometas, que se mueven en todos los sentidos, sin adoptar el plano ni la dirección común en que lo hacen todos los planetas. También se interesaba por las estrellas, apuntando que esa luz blanca de figura irregular que rodea el cielo en forma de cinturón es la Vía Láctea, un enjambre de estrellas. En resumen, Laplace hacía recuento de todos los objetos celestes, desde los más pequeños

---

creyó verlo confundido con una mancha solar. Hoy sabemos que para explicar el movimiento anómalo de Mercurio la mecánica de Newton no basta y hay que echar mano de la teoría de la relatividad de Einstein.

a los más grandes, refiriéndose incluso a las *novas*, las estrellas cuyo brillo varía visiblemente en poco tiempo, como la que observó Tycho Brahe en 1572, que aventajó en claridad al mismo Júpiter y su luz se debilitó hasta desaparecer a los meses de su descubrimiento.[41]

A continuación, tras presentar las leyes mecánicas del equilibrio y del movimiento, Laplace explicaba el Principio de Gravitación Universal de Newton y advertía: «Veremos que esta gran ley de la naturaleza representa todos los fenómenos celestes hasta en los menores detalles». Pero remitía al lector a su *Mecánica Celeste* para los detalles matemáticos, manteniendo el tono divulgativo (algo que acerca esta obra ilustrada a las que hoy nos ofrecen cosmólogos como Hawking, Penrose, Alan Guth o Brian Greene). Y Laplace concluía el corto último capítulo de la obra, titulado «Consideraciones sobre el Sistema del Mundo y sobre los progresos futuros de la astronomía», conjeturando cuál podría haber sido el origen del Sistema Solar. En ediciones posteriores de la *Exposición* Laplace desplazó esta conjetura a una nota (la nota séptima y última del libro), a la manera que Newton relegó muchas de sus especulaciones en la *Óptica* como apéndice. Sin embargo, para la tercera edición (1813), esta nota se había convertido en una teoría en regla sobre el origen y la evolución del Sistema del Mundo. En el espacio de unas pocas páginas el geómetra francés se aventuró en el terreno de la cosmología respaldado, eso sí, por la mecánica newtoniana. No es de extrañar el impacto que produjo, por cuanto su autor era la mayor autoridad viva en mecánica celeste y las explicaciones puramente «racionales» o «geométricas» del origen del mundo no abundaban. Es bien sabido que Laplace, a diferencia de Newton, no precisó de Dios como hipótesis para explicar la estabilidad del Sistema del Mundo. Sin embargo, difícilmente podía imaginar en 1796 lo famosa y fructífera que iba a ser su especulación de salón. Su «fábula del mundo» –por decirlo a la manera de Descartes– trataba de llegar allá donde no lo había conseguido Newton: comprender la estructura del Universo conocido en función de su historia, de su génesis.

41 En la edición de 1796 de la *Exposición*, Laplace realizó una curiosa digresión, postulando el fenómeno que hoy conocemos como *agujero negro* (un término debido a John Archibald Wheeler). Laplace afirmó que la fuerza de gravedad producida por un cuerpo luminoso que fuese 250 veces más grande que el Sol provocaría que los rayos de luz no pudiesen escapar de su superficie, siendo reabsorbidos y determinando que la estrella fuera en realidad invisible.

Su hipótesis cosmogónica ha dado en llamarse la hipótesis de Kant-Laplace, pero conviene aclarar que por esta vez Laplace no copió sin citar. En 1755 el filósofo Immanuel Kant publicó su *Historia general de la naturaleza y teoría del cielo*, donde intentaba explicar cómo pudo originarse el mundo conocido, y donde lo hacía de una manera análoga a la de Laplace (a partir de una nebulosa primitiva). No obstante, el corpus kantiano no sería introducido en Francia hasta 1801; y la obra kantiana en que aparecía la hipótesis apenas fue distribuida debido a la quiebra del editor. En consecuencia, no puede establecerse ninguna clase de influencia del filósofo prusiano sobre el matemático francés. Es más, mientras que Kant escribió un ensayo sobre la constitución del Universo rebasando los límites de nuestra galaxia, imaginando otras «Vías Lácteas» e, incluso, especulando con cómo serían los habitantes de los diferentes planetas según su proximidad a la estrella que los iluminase, el prudente Laplace –siempre atento a la norma newtoniana que prohibía «fingir hipótesis»– se atuvo al «Sistema del Mundo», esto es, a nuestro sistema planetario.

Más presente tenía Laplace la hipótesis que el naturalista Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon, había publicado en 1778 dentro de su obra *Historia natural*. Buffon fue uno de los primeros sabios que pusieron en duda la cronología bíblica, porque a su juicio estimaba muy por lo bajo la edad del Universo. Pensaba que la configuración actual del Sistema Solar era consecuencia de que en el pasado remoto un cometa había chocado o pasado cerca del Sol, haciendo saltar fragmentos que habían comenzado a girar a su alrededor y que al enfriarse habían dado lugar a los planetas y sus satélites.

La hipótesis laplaciana quería explicar un hecho bien atestiguado por la observación, y que Newton nunca había logrado explicar frente a los cartesianos: todos los planetas y todos los satélites conocidos giran en el mismo sentido y en órbitas que están confinadas casi en el mismo plano; además, estas órbitas tienen muy poca excentricidad (son prácticamente circulares) y se distinguen bien de las de los cometas (que son bastante excéntricas, de giro a veces retrógrado y poseen diferentes inclinaciones con respecto al plano en que se mueven los planetas y satélites). Para Laplace, este fenómeno era realmente improbable y no podía deberse al mero azar, sino que tenía que tener una causa bien definida. Aún más, dado que todos los cuerpos celestes –a excepción

de los cometas– compartían unas características similares, Laplace argumentaba que tenía que ser porque compartían un origen común. Pero criticaba a Buffon que su teoría catastrofista sólo explicaba por qué los planetas habían de moverse en el mismo sentido y en el mismo plano, pero no por qué tenían que hacerlo en órbitas escasamente excéntricas.

Laplace postuló que inicialmente el Sol tenía un tamaño mucho mayor que el actual, extendiéndose su atmósfera hasta los confines del Sistema Solar. Esta atmósfera solar era una especie de nebulosa primitiva. En este estado, el Sol se parecería a las nebulosas que el telescopio mostraba. Conforme las moléculas más exteriores de la atmósfera solar fueron enfriándose, formaron anillos circulares en torno al Sol, que se condensaron en globos y originaron los distintos planetas. Así, a causa del propio movimiento de rotación de la atmósfera solar, se explicaría que todos los planetas y sus satélites girasen en el mismo sentido y en el mismo plano. Además, según fuese perdiendo masa, esta atmósfera iría girando cada vez más rápido sobre sí misma, de modo que era natural que los planetas más exteriores girasen más lentamente que los interiores alrededor del Sol. Por último, las distintas posiciones de los planetas se explicarían coincidiendo con los momentos críticos en que la fuerza centrífuga causada por la rotación solar superase a la fuerza gravitatoria que mantenía a las moléculas solares atrapadas. Resumiendo, los múltiples anillos concéntricos de vapores que giraban en torno al Sol eran, en esta hipótesis, el origen común de los planetas. Los cometas eran, en cambio, cuerpos celestes ajenos al Sistema Solar.

A partir de 1811, con la presentación por parte de William Herschel de sus primeros trabajos sobre nebulosas, el estatuto gnoseológico de la hipótesis cosmogónica de Laplace cambió radicalmente: de ser una mera especulación ilustrada pasó a ser un modelo plausible. Probablemente, el primer modelo cosmológico científico. Por un lado, Herschel estableció fuera de duda que algunas nebulosas eran enormes nubes gaseosas de aspecto lechoso y con un núcleo luminoso, lo que se avenía muy bien con la idea de un Sol y una atmósfera solar gigantes. Por otro lado, mantuvo que ciertas estrellas pasaban a través de varias etapas de condensación nebular como resultado de la atracción gravitatoria. Como consecuencia, durante muchos años la hipótesis nebular se conoció también por el sobrenombre de hipótesis de Laplace-Herschel. Hasta que, a finales del siglo XIX, el físico alemán Hermann von Helmholtz

rescató la aportación kantiana y la rebautizó como la hipótesis de Kant-Laplace. Una expresión que hizo fortuna, paralelamente al proceso por el cual fueron elevándose voces críticas con la hipótesis (un argumento de peso es que no todos los planetas y satélites del Sistema Solar giran en el mismo sentido: Tritón, el satélite de Neptuno descubierto en 1846, no gira en sentido directo sino retrógrado), a pesar de que a día de hoy esta hipótesis ha resucitado, con mucho mayor detalle y refinamiento, como fundamento básico de la formación estelar.

3. Sin embargo, la astrofísica, más que la mecánica celeste laplaciana, fue el telón de fondo del desarrollo de la cosmología. Si el siglo XVIII fue el siglo de la astronomía planetaria, el siglo XIX lo fue de la astronomía estelar, de la astrofísica. En efecto, hay una serie de moradores de la esfera celeste a los que Laplace dedicó muy pocas líneas en la *Exposición del Sistema del Mundo*: las estrellas. La aplicabilidad de la teoría de la gravitación universal a estos astros lejanos constituye el punto de fuga de esta obra enciclopédica dirigida al gran público. El astrónomo francés se limitaba a señalar que las estrellas debían todas gravitar unas hacia otras y describir órbitas inmensas. Pero poco más podía añadir.

A lo largo del siglo XIX se conoce el paso de la astronomía matemática, que estudiaba sólo la posición de los astros, a la astronomía física, la «astrofísica» (un término acuñado en 1865) o «física estelar», que estudia la composición de los astros gracias a la aparición de nuevas técnicas de observación como la espectroscopía, que permite analizar los espectros estelares. La introducción del espectrógrafo, que descompone la luz de las estrellas de forma tan fina que se observan las líneas que corresponden a los elementos químicos que la forman, posibilitó el estudio a larga distancia del interior de los objetos celestes. Telescopios, fotómetros, espectrógrafos y con ellos luminosidades, colores y espectros pasaron a ser las piezas fundamentales (Rioja & Ordóñez: 2006, cap. 5).

En suma, mientras que la astronomía se ocupa de la posición de planetas, estrellas, nebulosas, galaxias y cúmulos (los sucesivos entes que han ido poblando el cielo), la astrofísica se preocupa también por la composición y la formación de esos objetos celestes. Ahora bien, tanto en astronomía como en astrofísica el mejor instrumento es aquel capaz de captar una mayor porción de la luz proveniente de las estrellas. El telescopio reflector de Newton, constituido por espejos, mejoró el telescopio refractor de Galileo, constituido por lentes (aparte de que es más

fácil fabricar un espejo que una lente); pero el límite en la construcción de espejos de gran tamaño se alcanzó durante el siglo XX con la construcción de grandes telescopios como el del Monte Palomar (5 metros de diámetro). Por otro lado, la atmósfera degrada siempre la nitidez de la imagen, por lo que los científicos han buscado diversas soluciones: la óptica adaptativa, que trata de corregir las malformaciones que genera la atmósfera y se hizo realidad en la década de los 80; y la astrofísica espacial, que apuesta por poner los instrumentos por encima de la atmósfera terrestre, como el telescopio espacial Hubble. La astrofísica espacial comenzó a ser una realidad en la década de los 60; pero, a pesar del éxito de las misiones espaciales Mariner, Venera, Voyager o Viking, esta solución está constreñida por su alto coste y el tamaño del colector.

Paralelamente, el umbral de observación de los telescopios se ha ido ensanchando progresivamente más allá del espectro visible, desde que Karl Jansky, empleado de los laboratorios de la Bell Telephone, descubriera en 1932 una persistente emisión en ondas de radio proveniente del centro de la galaxia, lo que daría lugar tras la IIGM al nacimiento de la radioastronomía o astronomía en radio, gracias al empuje que supuso el desarrollo del radar. Además, por la otra banda del espectro electromagnético, se han puesto en órbita telescopios con detectores en longitudes de onda muy cortas, lo que ha determinado el nacimiento de la astrofísica de altas energías. En nuestros días la astrofísica procede principalmente por medio de técnicas de espectroscopía, fotometría óptica e infrarroja y también interferometría en radio (un conjunto de 27 radioantenas de 25 metros de diámetro se combinan electrónicamente para obtener la resolución que daría una única radioantena de 36 km de diámetro).

Por otra parte, la instrumentación también ha cambiado en lo siguiente: de los dibujos al claroscuro de Galileo y las viejas placas fotográficas en blanco y negro se ha pasado a las imágenes digitales en color y las modernas cámaras digitales CCD, cuyas imágenes son sistemáticamente tratadas mediante ordenadores: las imágenes se corrigen, combinando varias imágenes tomadas durante la noche, para eliminar los rayos cósmicos (al ser eventos muy rápidos, aquellos puntos que no permanecen en toda la tirada de imágenes, son eliminados) y mejorar el fondo de cielo (borrando los efectos de la contaminación lumínica o del reflejo de la luz solar en la Luna). Finalmente, las imágenes se dotan de

falso color, asignando uno a cada gama de gris, para realzar estructuras, indicar zonas de distinta temperatura y también, es de rigor decirlo, para hacer estas imágenes más atractivas al público globalizado, para convertirlas en útil propaganda del valor de la astrofísica y la cosmología.

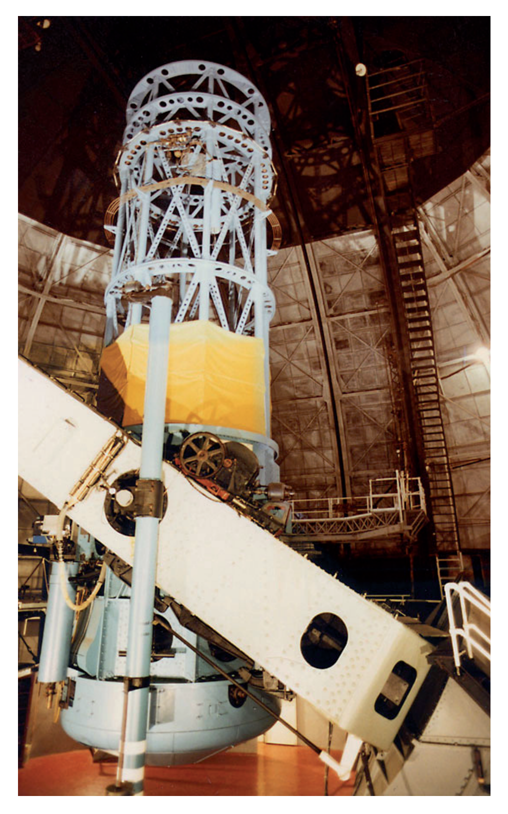


Figura 3: *Telescopio Hooker de Monte Wilson, donde trabajó Edwin Hubble, el más grande del mundo en su época (2,5 metros de diámetro)*

4. La astrofísica ofrece varios teoremas, en el sentido de la teoría del cierre, bajo el modo de clasificación. A saber, catálogos estelares y, en especial, el diagrama de Hertzsprung-Russell (1933), que explica la evolución estelar y los tipos de estrellas (según su tamaño y color) correlacionando el brillo con la temperatura. El estudio del ciclo de vida de las estrellas es, desde luego, uno de los resultados principales alcanzados por la ciencia astrofísica.

Si una mosca quisiera estudiar la vida de los seres humanos y sólo se fijara en uno, apenas podría concluir nada, ya que las moscas

viven sólo unos pocos días, un intervalo de tiempo ínfimo en comparación con la duración media de la vida humana. Sin embargo, si la mosca en cuestión observase una ciudad, es decir, una muestra grande de seres humanos, podría observar a seres humanos de distinta edad y concluir que los seres humanos tenemos un principio, un desarrollo y un final. Análogamente, en su estudio de las estrellas el hombre recurre a la estadística: la ingente cantidad de estrellas observables permite a los astrofísicos observar todas sus edades y describir la evolución estelar.[42] Esto es lo que Ejnar Hertzsprung y Henry Russell llevaron a cabo de forma independiente a principios del siglo XX (1911) cuando representaron en un diagrama la relación empírica entre la luminosidad y el color o el tipo espectral de una gran cantidad de estrellas. Más tarde, entre 1920 y 1940, Arthur Eddington y Subrahmayan Chandrasekhar fijaron los principios teóricos de la evolución estelar, una teoría sobre la estructura estelar, sobre las condiciones físicas que prevalecen en el interior de las estrellas, lo que permite explicar la distribución de las estrellas a lo largo del diagrama H-R.

Este diagrama de dispersión, que organiza estadísticamente las observaciones de múltiples estrellas confrontando su luminosidad con su color o su tipo espectral, muestra que la inmensa mayoría de estrellas se encuentran en una franja del diagrama que se llama secuencia principal (que va desde las gigantes azules, pasando por las estrellas amarillas del tipo de nuestro Sol, a las enanas rojas, y sólo deja fuera a las gigantes o supergigantes rojas y las enanas blancas). Esta secuencia corresponde a la evolución contráctil típica de una estrella, desde un estado de condensación elevada y luminosidad brillante al azul o al blanco hasta un estado de dilución al rojo con luminosidad relativamente baja. Las estrellas se forman, como ya conjeturó Laplace y puede observarse en la nebulosa de Orión, a partir de nubes de gas y polvo interestelar que se concentran por efecto de la gravedad hasta el encendido inicial (la materia sobrante en el disco nebular puede a

42 Un detalle en el que más abajo insistiremos, dado que la astrofísica constituye el sombreado de la cosmología, es que mientras la franja de verdad de los teoremas de la astrofísica se recorta estadísticamente, puesto que los astrofísicos pueden estudiar múltiples estrellas, la de la cosmología no, ya que los cosmólogos sólo pueden por principio estudiar un único Universo, el nuestro.

su vez concentrarse formando planetas, cometas o asteroides). Las estrellas se arraciman en grupos, aunque dos tercios de ellas forman sistemas binarios ligados gravitacionalmente, estrellas dobles (lo que posibilita calcular su masa). La vida de una estrella adulta está llena de procesos internos muy violentos (viento estelar, manchas frías, inestabilidades internas que se traducen en pulsaciones y convulsiones, &c.), pero es el agotamiento del hidrógeno lo que marca el principio del fin de la estrella. Para mantener el equilibrio, la estrella crece desmesuradamente y se convierte en una gigante roja. La masa inicial de la estrella juega un papel crucial en su muerte. Los modelos teóricos indican que si la masa estelar no alcanza unas siete veces la masa del Sol, la estrella se transformará en una enana blanca, incapaz de producir energía y que se apagará hasta perderse de vista. Sin embargo, las estrellas que superan en unas siete veces la masa del Sol explotan como supernovas, quedando sólo el núcleo central, de unos pocos kilómetros de diámetro, en el que se concentra una masa mayor que 1,4 veces la solar. Este núcleo puede desarrollarse como una estrella de neutrones que gira rápidamente, un púlsar, o si su masa es mayor que 3,2 veces la del Sol, como un agujero negro, una concentración de materia tal que ni la luz puede escapar de la acción de la gravedad.

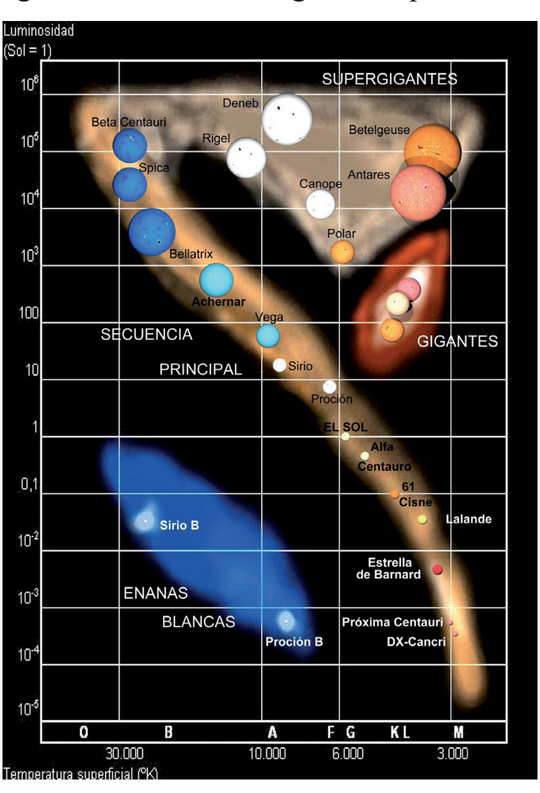


Figura 4: *Diagrama H-R, una ley estadística fruto de muchas observaciones estelares*

5. Conforme avanzaba el siglo XX, el Universo «observable» se ha ido poblando de nuevas hiperrealidades determinadas por los aparatos

que arman los astrofísicos: a las estrellas clásicas se han sumado los cuásares (fuentes de radio estelares) y los púlsares (estrellas de neutrones que emiten radiación muy intensa a intervalos cortos y regulares) más allá del espectro visible; los agujeros negros, remanentes masivos de supernovas detectados indirectamente; e, incluso, nuevas galaxias. Precisamente, la constatación de que la Vía Láctea era sólo una galaxia más de tipo espiral fue uno de los resultados con que se cerró el sonado debate sobre los Universos-isla en los años 20 del siglo pasado. Si la observación por parte de Tycho Brahe y de Jerónimo Muñoz (catedrático de Hebreo y Matemáticas en la Universidad de Valencia, y luego de Astrología en Salamanca) de una nueva estrella en la constelación de Casiopea en 1572, que hoy sabemos que se trataba de una supernova, de la explosión de una estrella moribunda, minó la teoría aristotélica de un firmamento inmutable comenzando a resquebrajar la bóveda de estrellas fijas, la revolución de los Universos-isla supuso un golpe aún más drástico para la posición del Hombre en el Cosmos, que hace que la revolución copernicana quede a su lado en una tormenta en un vaso de agua. Si el Universo de Copérnico tenía, en números redondos, un tamaño de una hora luz, reduciéndose a poco más que el Sistema Solar, el Universo de los astrónomos del primer cuarto del siglo XX creció hasta alcanzar unos diez mil millones de años luz, unas dimensiones colosales, donde nuestra galaxia no es más que un puntito entre otros miles de millones de galaxias.

El estudio de unas estrellas variables llamadas cefeidas (por Delta Cephei, la primera de esta clase observada) en la década de 1920 permitió a Harlow Shapley, astrónomo de Harvard, establecer una relación entre el periodo de sus pulsaciones, de sus cambios periódicos de brillo, y su luminosidad intrínseca, lo que dotó a los astrónomos de una poderosa herramienta para medir la distancia a estas estrellas pulsátiles que están demasiado alejadas como para precisar la paralaje de su desplazamiento con respecto a la Tierra. Mientras que los métodos geométricos (paralaje, movimientos propios, &c.) tienen un alcance limitado en la estimación de distancias, el uso de cefeidas como candelas patrón abre las puertas a la estimación de distancias galácticas. Por la medida directa del periodo de pulsaciones, podemos determinar su brillo absoluto y esto, en combinación con el brillo visual, nos da la distancia de la estrella, ya que el brillo de un objeto disminuye con el

cuadrado de la distancia. Shapley estimó la distancia del Sol al centro galáctico, el tamaño de la Vía Láctea y la distancia a ciertos cúmulos globulares. Pero sería Edwin Hubble quien cerrase hacia 1925 el «Gran Debate» habido entre Harlow Shapley y Heber Curtis el 26 de abril de 1920 en el Museo de Historia Natural del Instituto Smithsonian en Washington sobre la existencia de otros Universos-isla, dando la razón al segundo. La observación por Hubble de candelas cefeidas en los brazos en espiral de Andrómeda permitió concluir que esta nebulosa estaba extremadamente alejada en comparación con el tamaño estimado de la Vía Láctea y que, por tanto, a pesar de la opinión en contra de Shapley, había de ser entronizada como otro Universo-isla o galaxia independiente (aunque Hubble, por su enemistad con Shapley, nunca empleó la palabra «galaxia», propuesta por él, sino el término «*nébula* extragaláctica»). Nuestro Sistema Solar, con su estrella y sus planetas formados a partir de la misma nube de gas y polvo, no era más que un diminuto punto dentro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, una galaxia espiral que acoge un inmenso conjunto de estrellas y de nebulosas de gas y polvo… de unos 100.000 años luz de diámetro, pero que a su vez no es más que otra galaxia dentro del cúmulo de Virgo, una región de unos 50 millones de años luz que reúne a unas 2000 galaxias, y que a su vez no es más que otro cúmulo en un entramado casi infinito de cúmulos de galaxias y vastas zonas aparentemente vacías en el Universo.

Entre los siglos XVIII y XX, entre Herschel y Hubble, el número de nebulosas se había incrementado de 100 a 2500. Los astrónomos decimonónicos las catalogaron en espirales o elípticas. Pero con la identificación de algunas de ellas como galaxias por derecho propio, Hubble y Knut Lundmark las reclasificaron –no sin acritud– hacia 1926 de acuerdo a su morfología en elípticas, espirales (como la Vía Láctea) e irregulares. Además, Hubble avanzó el esquema evolutivo del diapasón, que hoy se considera erróneo, para explicar los posibles cambios en su forma en función de la presencia o no de barras. Actualmente, las simulaciones asistidas por ordenador muestran que las galaxias elípticas se forman a partir de la fusión de galaxias espirales en colisión, pero no hay pruebas fehacientes.

Aparte de los Universos-isla, nos hemos referido antes a otras hiperrealidades astrofísicas: los cuásares y los púlsares. En torno a 1960 los

radiotelescopios percibieron una importante emisión en radio asociada a una fuente de luz puntual: un cuásar (acrónimo de fuente de radio cuasi-estelar, una cuasi-estrella). En 1963, Maarten Schmidt determinó, analizando los espectros, que los cuásares se encontraban a más de 14.000 millones de años luz y emitían 100 veces más energía que toda la Vía Láctea junta. Junto a las explosiones de rayos gamma[43] (que ostentan el récord), los cuásares son de los fenómenos energéticos más descomunales del Universo. Un cuásar es el núcleo de una galaxia lejana que se caracteriza porque el brillo de su zona central supera con diferencia al del resto, tanto que las estrellas que lo forman son difícilmente discernibles, presentando el aspecto compacto de una única estrella.

Hacia finales de la misma década, Jocelyn Bell y Anthony Hewish descubrieron el primer radiopúlsar. En agosto de 1967, Bell, armada con el nuevo radiotelescopio de Cambridge que empleaba el equipo de Hewish, comenzó a rastrear el cielo en ciertas longitudes de onda en busca de cuásares, ya que el aparato estaba optimizado para detectar fluctuaciones muy rápidas de las radiofuentes, lo que resultó determinante para descubrir los púlsares. Estudiando durante meses las gráficas en cantidades industriales que daban el rastreo de cada día (30 metros de papel diarios; Bell analizó un total de ¡5,3 kilómetros de tiras de papel!), la radioastrónoma comenzó a notar la presencia ocasional de una anomalía, de una extraña radioseñal, inesperadamente fuerte, siempre en la misma zona del cielo. Repitiendo las observaciones, para descartar que se debiera a un fallo del radiotelescopio o a interferencias humanas, observaron que se trataba de una fuente compacta dentro de nuestra galaxia, y que emitía unos pulsos de radioenergía extremadamente regulares a intervalos de algo más de un segundo. Debido a esta extraordinaria regularidad, llegaron a pensar en la posibilidad de haberse topado con una emisión extraterrestre de origen inteligente. De hecho, temporalmente denominaron LGM-1 a la radiofuente, por *Little Green Man*, «hombrecillo verde».

Sin embargo, cuando en diciembre de ese año Bell descubrió una segunda radiofuente con características similares, y poco después una

43 Unos destellos muy lejanos pero muy intensos, con duración de varios segundos, que se descubrieron de manera fortuita en 1967 por una serie de satélites norteamericanos diseñados para detectar pruebas nucleares encubiertas de la U.R.S.S. durante la Guerra Fría. Por término medio se registran un par de veces al día, pero su origen sigue siendo un misterio.

tercera y una cuarta, descartó que se tratara de vida inteligente. Hewish, Bell y otros colegas hicieron público el descubrimiento de esta nueva clase de radiofuente de tipo pulsante a través de un artículo en *Nature* a principios de 1968, y para referirse a ella terminaron adoptando la sugerencia de un periodista científico de bautizarla con el nombre de púlsar (del inglés *pulsating star*), inspirándose en el término cuásar (del inglés *quasi-stellar source*). Casi enseguida, el astrofísico Thomas Gold explicó la naturaleza de estas radiofuentes, que consisten en estrellas de neutrones, restos procedentes de supernovas, en rapidísima rotación y que, a causa de su potente campo magnético, emiten un haz doble de radioondas, un chorro emitido en dos direcciones, coincidiendo con los polos magnéticos de la estrella. Este haz barre la Tierra a intervalos regulares, conforme el astro rota (a la manera que lo hacen los haces de luz del faro costero girando en la noche). Por esta razón, lo que se observa en la Tierra es una suerte de estrella pulsante. Curiosamente, algunos púlsares pudieron ser detectados con anterioridad a su descubrimiento oficial en Cambridge, pero los radioastrónomos europeos malinterpretaron los datos y los radares de escucha militares de los EE.UU. no les prestaron atención. Sólo Hewish fue honrado con el Nobel en 1974, a pesar de que su discípula Bell fue la que logró atraer su atención por este fenómeno, pero el comité decidió dejarla fuera por tratarse en aquel tiempo de una estudiante de posgrado.

Desde nuestras coordenadas gnoseológicas resulta capital reparar en que, como subraya Woolgar (1990, 97), «sólo retrospectivamente podemos *reconocer* (y *reconocemos*) que los participantes seguían la pista del mismo objeto: un púlsar»; porque el objeto en cuestión atravesó varias fases incompatibles entre sí hasta su construcción definitiva como hiperrealidad: trazo inusual, posible interferencia, estallido temporal, «hombrecillo verde», nuevo tipo de fuente pulsante de radio. Posicionándose más allá –como subraya Pickering (1995, 184 n.p.)– de cualquier realismo adecuacionista, Lynch, Livingston y Garfinkel (1983, 175) arguyen que el episodio enseña cómo la aparición en la noche de un objeto cultural en su génesis «devino progresivamente *asociado* con la naturaleza simultáneamente al esfuerzo por *separarlo* de las características localmente explicativas de la captación instrumental del objeto». Al igual que Woolgar, los tres etnometodólogos evitan hacer un fetiche de este objeto nocturno, rastreando su genealogía en la

praxis científica. En verdad, diríamos nosotros, los radioastrónomos extrajeron una nueva esencia terciogenérica, más allá de la naturaleza y de la cultura, a partir de observaciones primogenéricas.

6. Dejemos ya a la espalda el hiato sobre astrofísica y focalicemos nuestra atención en la cosmología. Si la cosmología pergeñada por Laplace en los albores del siglo XIX se apoyaba en la astronomía planetaria y la mecánica de Newton, la cosmología moderna lo hace sobre la astrofísica estelar y la teoría de la relatividad de Einstein. No será hasta entrado el siglo XX cuando, fracturado el casquete de estrellas fijas, la cosmología física haga acto de presencia, planteándose no ya la formación del Sol y los planetas sino el origen y la evolución conjunta de las gigantescas familias estelares, conocidas con el nombre de galaxias, que se esparcen por el Cosmos y la astrofísica había puesto sobre la mesa.

A diferencia de la teoría de la relatividad especial, la teoría de la relatividad general considera un espacio-tiempo con materia, responsable de la gravedad. La ecuación fundamental propuesta por Einstein –con la inestimable ayuda matemática de Marcel Grossmann– en 1915 condensa la siguiente relación: la masa le dice al espacio-tiempo cómo curvarse y éste le dice a aquélla cómo moverse. Son numerosas las pruebas superadas por esta teoría surgida en un momento en que el mundo experimentaba cambios tecnológicos de primera magnitud relacionados con la sincronización eléctrica de relojes, el telégrafo, la radio, el cinematógrafo, &c. Primeramente, dado que la relatividad general contiene a la relatividad especial, las pruebas pasadas por la teoría restringida en la categoría atómica: en interferómetros, como el de Michelson y Morley, donde se demuestra la invariancia de la velocidad de la luz; en aceleradores de partículas, donde se testa que $E=mc^2$; o en el GPS y el transporte de relojes atómicos por aviones alrededor del globo… Y, en segundo lugar, las pruebas que directamente afectan a la teoría general, como son: el avance del perihelio de Mercurio (los famosos 43 segundos de arco/siglo inexplicados por la mecánica clásica); la desviación gravitacional de los rayos de luz (comprobada en el eclipse africano observado por Eddington en 1919 y, actualmente, en la observación de lentes gravitacionales); el corrimiento hacia el rojo gravitatorio, observado en Sirio en 1929 y medido en el laboratorio en 1960; y la plausible existencia de ondas

gravitacionales, recientemente detectadas, en 2016 (Madrid Casado: 2016a).[44] Todas estas pruebas muestran cómo la teoría, la técnica y el experimento se hilvanan entre sí.

7. ¿Cómo aplicar la relatividad general al Universo como un todo? El propósito de la cosmología, estudiar el Universo a gran escala espacial y temporal, se logra partiendo del *principio cosmológico*. Este principio presupone la *homogeneidad* (es decir, la imposibilidad de distinguir características especiales entre dos volúmenes de espacio diferentes, porque todos los puntos del espacio tienen las mismas propiedades físicas y geométricas en cada instante de tiempo) y la *isotropía* (esto es, la invarianza de las características del espacio con respecto a la dirección en que se mire, de manera que todas las direcciones del espacio nos muestran las mismas propiedades físicas y geométricas en cada instante de tiempo) del Universo a gran escala. Gracias a él resulta posible caracterizar matemáticamente una distribución de masa homogénea con el fin de plantear un modelo matemático del Universo de acuerdo a la teoría de la relatividad. El nombre de este principio fue acuñado por el astrónomo británico Edward Arthur Milne en 1933, pero ya con anterioridad Einstein y Willem de Sitter lo habían discutido con motivo de la primera aplicación cosmológica de la teoría de la relatividad en 1917 (el título del trabajo pionero de Einstein habla por sí solo: «Consideraciones cosmológicas concernientes a la teoría general de la relatividad»). Einstein no sabía si se trataba de una hipótesis demasiado atrevida, pero casaba con algunas ideas de Mach y, lo que era más importante, permitía resolver las ecuaciones de la relatividad general al simplificarlas sobremanera. Los trabajos de Hubble, que revelaron cierta uniformidad en la distribución de las galaxias, le sirvieron al físico alemán de confirmación a mediados de los años 30 (a día de hoy el principio parece apoyado por las observaciones, que muestran un Universo con cúmulos de galaxias pero uniforme en promedio). Para Einstein, el principio cosmológico era una garantía de que las leyes de la física eran iguales en todas partes,

44 No obstante, la confirmación de la teoría de la relatividad general que hizo mundialmente famoso a Einstein en 1919, ocupando las portadas de los periódicos con titulares como «Newton desbancado», se basó en observaciones ambiguas, decidiéndose el resultado «democráticamente» por las presiones del momento. Afortunadamente, los físicos no tuvieron que desdecirse con posterioridad (como ha pasado con la fusión fría o la quinta fuerza), porque experimentos similares engranaron con mayor nitidez con la relatividad general.

de que no ocupamos un lugar privilegiado en el Universo (principio copernicano), y que por tanto las extrapolaciones en que se basa la cosmología son legítimas.

El modelo de Universo construido por Einstein en 1917 se distingue por ser estático. En lo que posteriormente calificaría como «el mayor error de mi vida», Einstein introdujo una constante en las ecuaciones de campo de la relatividad general con el objetivo de modelar un Universo homogéneo estático, sin evolución posible (De Sitter hizo lo mismo para un Universo homogéneo esencialmente vacío, con una densidad de materia despreciable). La *constante cosmológica* representaba un efecto repulsivo, antigravitatorio, que compensaba la tendencia al colapso que se produciría en un Universo estático como consecuencia de la gravedad. Con la posterior aceptación de la expansión del Universo, Einstein abjuró de ella, pero esta incómoda constante no es tan superflua como parece, porque es el único término teórico consistente que puede añadirse a las ecuaciones sin que éstas pierdan su coherencia, es decir, sean covariantes (no dependan del sistema de referencia elegido), puedan reducirse a la teoría newtoniana de la gravedad cuando los campos gravitatorios son débiles y las velocidades implicadas son bajas en comparación con la velocidad de la luz, y no introduzcan derivadas de tercer orden de la métrica.[45]

8. Diez años después, en 1927, el astrónomo belga y sacerdote católico Georges Lemaître publicó un artículo en francés en una oscura e inaccesible revista científica belga, que pasó prácticamente desapercibido, donde calculaba una solución exacta de las ecuaciones de la relatividad general que describía un Universo lleno de materia en expansión. Aunque Lemaître no lo supiera por aquel entonces, este modelo era uno de los modelos no estáticos de Universo que el matemático y meteorólogo ruso Alexander Friedmann, muerto prematuramente de

45 Paradójicamente, a día de hoy la constante cosmológica se reintroduce en las ecuaciones por lo contrario, para explicar, no ya la estaticidad del Universo, sino su expansión acelerada (algunos cosmólogos la relacionan con la energía oscura, cuando ésta no se identifica con una quintaesencia). El interés por la constante cosmológica resucitó con motivo de las teorías cuánticas de campos, que la homologan con una densidad de energía del vacío no nula, a pesar de que las predicciones de estas teorías fallan estrepitosamente –¡¡en 120 órdenes de magnitud!!– al ser comparadas con las observaciones astronómicas de la *Voyager*, en lo que se conoce como «la peor predicción física de la historia»: la energía del vacío asociada en teoría a las fluctuaciones cuánticas es nada menos que un 1 seguido de 120 ceros más grande que la medida.

unas fiebres tifoideas en 1925, había dado en 1922 (la hiperesfera, con curvatura positiva) y 1924 (la silla de montar, con curvatura negativa) como soluciones meramente matemáticas de las ecuaciones relativistas; porque Friedmann reconocía, honestamente, que no podía distinguir cuál de las variedades riemannianas correspondía a nuestro Universo. Einstein fue quien poco después le dio a conocer a Lemaître este trabajo publicado en alemán (la solución del físico belga compaginaba con la variedad con topología elíptica del matemático ruso). La teoría de la relatividad admitía, a pesar de las resistencias de Einstein, modelos dinámicos de espacio-tiempo, con Universos en expansión o contracción. Además, Lemaître ponía cuidado en mostrar que las observaciones realizadas por Slipher y Hubble sobre el alejamiento de nebulosas espirales respecto a la Tierra encajaban con la solución de un Universo en expansión.[46] Para Einstein, como le hizo saber a Lemaître en persona, el cálculo era correcto pero la visión del mundo que arrastraba era abominable, pues recordaba en exceso a la Creación (Luminet: 2013).

Y en 1931 el abad Lemaître esbozó la más antigua versión de la teoría del Big Bang en un artículo titulado «El comienzo del mundo desde el punto de vista de la teoría cuántica»: la hipótesis del «átomo primigenio», según la bautizaría meses después. Si el Universo se expandía, como hacía patente su solución y las observaciones de Slipher y Hubble, debía de haber existido un tiempo en el que se hallara comprimido en un volumen muy pequeño, con muy grande densidad, entropía nula, y a alta presión y temperatura, ya que todos los cuerpos se calientan cuando se comprimen y se enfrían cuando se expanden.

46 De hecho, el artículo de Lemaître de 1927, significativamente titulado «Un Universo homogéneo de masa constante y radio creciente que da cuenta de la velocidad radial de las nebulosas extragalácticas», contenía una derivación tentativa de lo que hoy se llama la ley de Hubble y la constante de Hubble, aunque el propio Lemaître omitió esta sección al traducirlo al inglés en 1931 por considerar sus cálculos demasiado inexactos en comparación con los que ya habían publicado Hubble y su ayudante Milton Humason (Livio: 2011). Es más, algunos estudiosos sugieren que Hubble encontró justo lo que andaba buscando, porque su colaborador, Milton Humason, relató en una entrevista concedida en 1965 que Hubble supo de la relación velocidad-distancia en una reunión de la Unión Astronómica Internacional celebrada en Holanda en 1928, en la que intervino Lemaître (Llallena Rojo: 2017, 90). La deuda con Lemaître no acaba aquí, porque las soluciones de Friedmann-Lemaître fueron vueltas a calcular en la década de los 30 en EE.UU. y han terminado por llamarse injustamente «modelos de Robertson-Walker». Además, según Luminet (2011 y 2013), Lemaître tuvo la primera intuición de una radiación fósil y de la constante cosmológica como una densidad de energía del vacío (una relación que sería reexpuesta por Zeldovich en 1967).

La innovación más radical de Lemaître fue ligar la estructura del Universo a gran escala que estudia la teoría de la relatividad con la naturaleza íntima de los átomos que estudia la mecánica cuántica. No obstante, este artículo era, según palabras de su autor, más que una comunicación científica, «una pieza visionaria de cosmo-poesía pensada más para abrir los ojos a los lectores que para convencerlos» (Luminet: 2011).

Lemaître comenzó a desarrollar cuantitativamente la hipótesis del átomo primigenio en otro artículo publicado también en 1931: «El Universo en expansión», donde entroncaba su teoría con la cosmogonía de Laplace y Kant. A su juicio, la idea de una nebulosa primitiva encajaba con una cosmología lenta y gaseosa, pero la expansión del Universo precisaba de una cosmología rápida y radiactiva, de un átomo primitivo o huevo cósmico. El sustento de Eddington, mentor del astrónomo belga, fue decisivo para que la solución de 1927 y la hipótesis aneja de 1931 calasen poco a poco entre los astrónomos ingleses y norteamericanos durante los años 30, tanto entre aquellos que se mostraban contrarios a los cimientos relativistas (la cosmología relativista no era unánimemente aceptada entre los especialistas, existiendo cosmologías rivales como la cosmología axiomática, conocida como relatividad cinemática, de Milne) como entre aquellos reacios a la consideración de un Universo evolutivo de edad finita. El astrofísico británico no estaba satisfecho con el modelo de Einstein, al que quería dar un poco de movimiento, ni con el modelo de De Sitter, al que quería dotar de un poco de materia. El primero no casaba con las observaciones nebulares (de las que Einstein, a diferencia de Eddington, no estaba muy al tanto). El segundo se ajustaba a las observaciones, pero al precio de estar vacío. A base de insistir por carta, Lemaître logró que Eddington se interesara por su modelo (a pesar de que la idea de un comienzo del tiempo le resultaba repugnante), ya que de un plumazo resolvía ambos problemas. Conviene tener en cuenta que durante el periodo de entreguerras los cosmólogos no eran un gremio institucionalizado, sino una mezcla irregular de físicos teóricos, matemáticos, astrónomos y astrofísicos que se dedicaban a tiempo parcial a los problemas cosmológicos, y donde las cuestiones geométricas discurrían muchas veces al margen de las cuestiones físicas u observacionales, y viceversa.

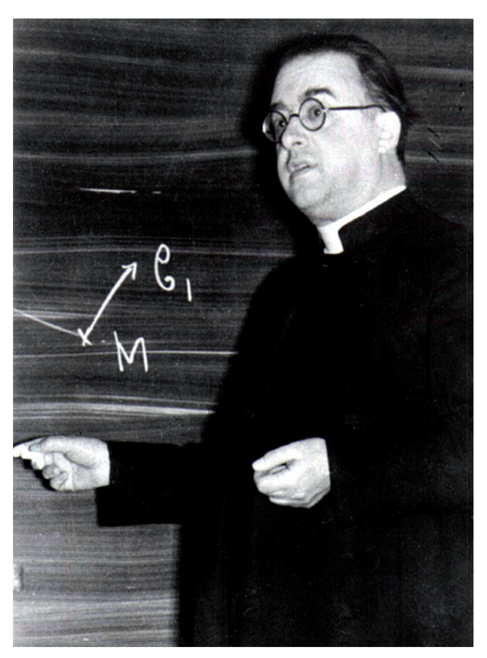


Figura 5: *El abad Georges Lemaître, padre de la teoría del Big Bang*

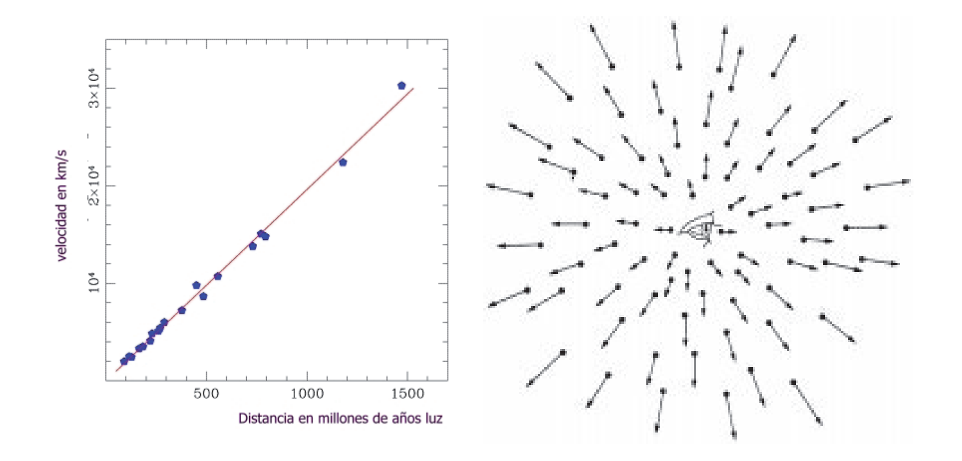
9. A principios de enero de 1929 vio la luz el archifamoso artículo de Hubble «Una relación entre la distancia y la velocidad radial en nebulosas extra-galácticas». Edwin Powell Hubble ejerció de abogado, fue un atleta consumado y un apasionado astrónomo, que a pesar de su formación nada ortodoxa logró tener acceso al mayor telescopio de la época, el del observatorio en el Monte Wilson. Sus cuidadosas observaciones inauguraron, como hemos mencionado, la astronomía galáctica, gracias a su empleo de nuevos indicadores de distancias como las cefeidas.

Hacia 1912 el rico aficionado a la astronomía Percival Lowell[47] instó a Vesto Slipher a que observase el espectro de nebulosas espirales. Durante años este último constató que la mayoría de ellas presentaban desplazamientos al rojo e, interpretando este corrimiento como un efecto Doppler, estimó sus velocidades radiales: 38 de las 41 nebulosas analizadas presentaban velocidades de recesión, es decir, se alejaban velozmente de la Tierra (la excepción la constituían galaxias pertenecientes al grupo local). En su popular manual de relatividad de 1923, Eddington se hizo eco de este llamativo hecho

47 Lowell estaba convencido de que las líneas que surcan la superficie de Marte y que había descubierto Giovanni Schiaparelli eran, en realidad, canales de agua construidos por una civilización marciana. Asimismo, estaba obsesionado con la búsqueda de un Planeta X más allá de Neptuno que explicase los desajustes en su órbita (hoy sabemos que estos desajustes no se debían a ninguna perturbación gravitacional, como en el caso de Urano, sino a un error de cálculo). Lowell murió en 1916, pero el descubrimiento por casualidad de un nuevo planeta en 1930 por parte de Clyde Tombaugh, un astrónomo del observatorio fundado por Lowell, hizo que se le denominara Plutón, cuyas dos primeras letras, PL, remiten a Percival Lowell (cotejando mediante destellos 160.000 placas fotográficas entre sí, Tombaugh detectó una minúscula diferencia, un astro, el noveno planeta, ahora degradado a planeta enano, se había desplazado unos 3,5 milímetros).

y señaló que se trataba de uno de los problemas más confusos de la cosmología, pero que faltaba comprobar si este corrimiento al rojo también se observaba en las nebulosas del hemisferio sur.

Paralelamente, Hubble estimó la distancia a algunas de estas nebulosas mediante la observación de candelas cefeidas o del flujo luminoso; y decidió cruzar ambos resultados, correlacionar los enrojecimientos –interpretados como velocidades de recesión– de 24 de ellas con su distancia. La intersección entre ambos cursos operatorios, entre el análisis espectroscópico desarrollado por Slipher y la determinación de distancias mediante cefeidas desarrollada por Hubble, se concretó en esa identidad sintética que conocemos como ley de Hubble y que está recogida en ese gráfico o diagrama de dispersión que manifiesta una relación lineal entre ambas variables. En consecuencia, la velocidad de recesión de las galaxias v podía expresarse como una función lineal de la distancia D: $v = H \cdot D$, donde H es la célebre constante de Hubble.



Figuras 6 y 7

A la derecha: ley estadística de Hubble, correlación lineal directa fuerte entre el desplazamiento hacia el rojo (interpretado como velocidad de recesión) y la distancia de la galaxia a nosotros. A la izquierda: representación esquemática del significado físico de la ley de Hubble (el observador percibe que las galaxias más lejanas son las que se alejan más rápidamente).

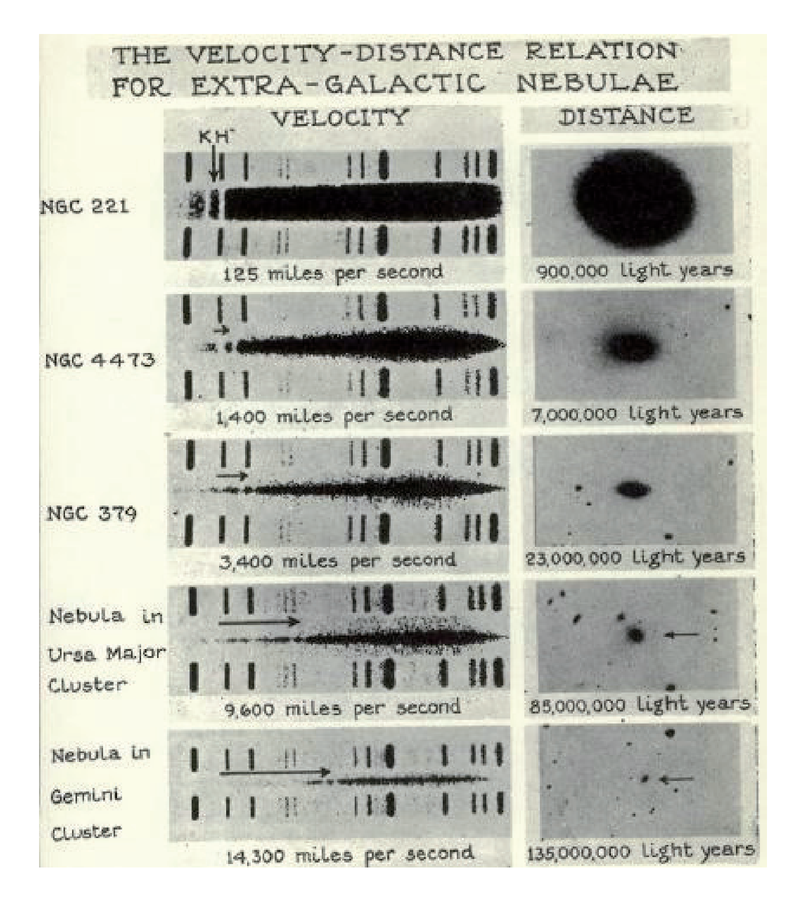


Figura 8: *Corrimiento al rojo (marcado con flechas hacia la derecha) cada vez más acusado en galaxias cada vez más lejanas (ilustración entresacada de un libro debido a Hubble,* The Realm of the Nebulae*, 1936)*

Muy pronto la ley de Hubble fue corroborada por el astrónomo holandés Willem de Sitter (el astrónomo holandés se había ya percatado en 1917 de que en su modelo de Universo las líneas espectrales de estrellas o nebulosas distantes tenían que aparecer desplazadas hacia el rojo, aunque hablaba de velocidades espurias, debidas a un efecto de la métrica del espacio-tiempo), y para 1931 Hubble y su ayudante Milton Humason (un mulero que terminó de astrónomo) mejoraron la precisión del diagrama aumentando el tamaño de la muestra, con lo que la correlación lineal entre el desplazamiento al rojo y la distancia era mucho más nítida que antes. Ahora bien, es un mito afirmar que Hubble descubrió la expansión del Universo, por más que esta

aseveración se repita con frecuencia. Es necesario aclarar este punto al que regresaremos una y otra vez dentro de nuestro análisis filosófico de la cosmología.

En puridad, la ley de Hubble relaciona la distancia, estimada empleando candelas cefeidas o el flujo recibido, con el corrimiento hacia el rojo. O sea, distancias con desplazamientos al rojo. No distancias con «velocidades» (Cepa: 2007, 35; Battaner: 2013, 106). El quid de la cuestión está en cómo interpretar este corrimiento al rojo de la luz proveniente de las galaxias que revela el espectro. Originariamente, Vesto Slipher lo interpretó de acuerdo al efecto Doppler ordinario. En 1842 Christian Doppler había establecido que la frecuencia del sonido depende de la velocidad relativa entre el emisor y el receptor. Al igual que el silbato del tren nos llega con un tono más agudo al acercarse y un tono más grave al alejarse, la luz se torna de color azul cuando la fuente se acerca y de color rojo cuando se aleja, porque las ondas se alargan y los colores se corren hacia el extremo rojo del espectro. Conforme a esto, si las líneas espectrales de la luz emitida por las galaxias se corrían hacia el rojo, entonces estas galaxias se estaban alejando de nosotros (y lo hacían más deprisa cuanto más lejos se encontraban). En el caso de Hubble, la identificación del desplazamiento al rojo con una velocidad de recesión fue cosa más bien de su colega Humason (este as de la espectroscopía se encargó de estimar con su legendaria perseverancia las velocidades radiales de las nebulosas espirales a partir de los espectrogramas). De hecho, en su artículo conjunto «La relación velocidad-distancia en nebulosas extra-galácticas» de 1931 se decía: «la interpretación de los desplazamientos al rojo como velocidades reales no conlleva, sin embargo, la misma confianza [que el hecho de que la relación entre el desplazamiento y la distancia es claramente lineal], y el término “velocidad” será usado de momento en el sentido de velocidad “aparente”, sin perjuicio de su significado último». Mientras que Humason terminó interpretando el desplazamiento como un movimiento cuya mejor explicación era la expansión del Universo, Hubble retuvo la expresión «velocidad aparente», ya que la interpretación le parecía controvertida (Assis, Neves & Soares: 2009).

Hubble siempre se mantuvo escéptico con respecto a la interpretación del corrimiento al rojo de las galaxias como una velocidad de

recesión, así como con la inserción de su ley empírico-estadística en el marco teorético de la cosmología relativista, como una consecuencia de la expansión del Universo. Así, en las 202 páginas de su libro *El Reino de las Nebulosas* de 1936 no se encuentra la interpretación teórica de sus observaciones hasta la página 198, donde se hace una corta referencia a Einstein, De Sitter, Friedmann, Robertson, Tolman y Milne (pero no a Lemaître). Todavía en 1947 mostraba reparos con respecto a las asociaciones corrimiento-velocidad y corrimiento-expansión (al igual, por cierto, que el astrónomo también estadounidense Halton Arp).

Y no es lo mismo, atención, mantener que las galaxias se están alejando de nosotros de una peculiar manera que creer que el espacio-tiempo se está expandiendo. En el primer caso, las galaxias presentan un movimiento real; en el segundo caso, este movimiento es aparente y el protagonismo hay que cederlo al espacio. Ambas lecturas son lógicamente incompatibles, aunque empíricamente equivalentes. Salvo por un detalle nada baladí: la invocación al efecto Doppler (que hoy día continúa por parte de muchos autores para confusión de profanos) asume que la recesión de las galaxias es cinemática y, por tanto, para no violar la relatividad especial, no puede producirse a velocidades superiores a la velocidad c de la luz. Pero la ley de Hubble $v = H{\cdot}D$ es lineal y, en consecuencia, para una galaxia suficientemente alejada la velocidad resultante puede ser mayor que c, lo que es contradictorio. Sin embargo, nada prohíbe que sea el propio espacio-tiempo el que se expanda a velocidad superior a la de la luz (Cepa: 2007, 41).

Actualmente, aceptado que el efecto Doppler sólo sirve para explicar desplazamientos al rojo pequeños (algo que omiten mencionar la mayoría de libros de divulgación científica), la solución para salvar los fenómenos pasa por afirmar que no es que las galaxias se estén moviendo coordinadamente, sino que es el espacio intermedio entre ellas lo que se está estirando (Cepa: 2007, 43; Hernández: 2007). El desplazamiento al rojo se explica, pues, como una consecuencia de la evolución de la métrica, de la medida de la distancia, esto es, del incremento del factor de escala con el tiempo (Cepa: 2007, 37-38). Si imaginamos un rayo de luz que parte de una galaxia lejana, cuando llegue a la Tierra sus valles y crestas nos llegarán con una frecuencia menor (la longitud de onda se alargará) que la que tenían en el

momento de la emisión como resultado del estiramiento del espacio durante su viaje hasta nosotros. La onda de luz se estira debido a la expansión del Universo. Una expansión que sólo afecta a los objetos celestes no vinculados por interacciones (galaxias alejadas separándose unas de otras), ya que la atracción gravitatoria contrarresta su efecto (de lo contrario, si todo se expandiese, no notaríamos diferencia alguna, puesto que el propio metro también lo haría y medir es siempre relacionar). En otras palabras, es el espacio inter-galáctico el que (supuestamente) se estira, ya que el espacio intra-galáctico permanece sometido por la gravedad. Para explicar la expansión de Universo suele recurrirse a la analogía de un globo donde hemos pegado una serie de papelillos que representan las galaxias. Conforme el globo se hincha, la goma, que representa el espacio-tiempo, se estira y los papelillos, las galaxias, se separan unos de otros, aunque la expansión de la superficie del globo no afecta a la forma de los papelillos/galaxias.[48]

El verdadero artífice o inventor de la expansión del Universo (no tiene sentido decir el verdadero «descubridor» de la expansión del Universo porque, como insistiremos más abajo, no estamos ante un «hecho», una «observación», sino ante una «inferencia» que requiere de hipótesis auxiliares) fue Lemaître, ya que el científico belga fue el primero que advirtió que la expansión de las galaxias concordaba con las conclusiones de la teoría general de la relatividad. En efecto, en 1927, dos años antes que Hubble, Lemaître había presentado en su artículo teórico una solución dinámica de las ecuaciones de la relatividad general de Einstein, había deducido la ley de Hubble y había obtenido un primer valor para la constante de Hubble a partir de las mediciones de Slipher. Pero Lemaître comentó que sus cálculos eran demasiado inexactos para confirmar la validez de la relación lineal que

48 No obstante, si nos aferramos al formalismo de la teoría de la relatividad, hay que concluir –como hace Lewis (2016)– que la expansión del espacio no es real sino simplemente una imagen intuitiva, porque en relatividad la longitud de onda no es una propiedad del fotón sino del sistema formado por el fotón y el observador. En estas condiciones, el corrimiento al rojo cosmológico que percibe un observador puede ser reinterpretado, mediante un cambio de coordenadas adecuado, como un corrimiento al rojo debido al movimiento (efecto Doppler) por otro observador. Por otra parte, la razón de que el espacio intra-galáctico no se estire con la expansión del Universo descansa, según esto, en que el modelo sólo es válido a escalas gigantes, cuando el principio cosmológico es aplicable (lo que no es el caso dentro de una galaxia).

conjeturaba. En suma, su argumento era el siguiente: si el propio Universo se está expandiendo en todas direcciones, entonces queda explicado el hecho de que las galaxias se alejen de la Tierra y la suposición, aceptando el principio cosmológico (que postula que el Universo es uniforme, es decir, isótropo y homogéneo y, por tanto, lo observado desde la Tierra no es privilegiado), de que todas las galaxias se alejan efectivamente unas de otras, y cuanto más lejanas están a mayor velocidad lo hacen. «El alejamiento de las nebulosas extragalácticas es –según declaró en las conclusiones del artículo de 1927– un efecto cósmico debido a la expansión del Universo». Lemaître tuvo el mérito de hacer confluir los modelos matemáticos elaborados en Europa (Einstein, De Sitter, Friedmann) con las observaciones telescópicas realizadas en América (Slipher, Hubble, Humason).

En otro punto, la estimación del valor en el presente de la constante de Hubble $H = v/D$ abrió un debate que todavía no se ha cerrado. El método clásico para obtenerla procede a partir de una muestra grande de galaxias lejanas, midiendo su velocidad de recesión y su distancia a nosotros. Como ya sabemos, la primera cantidad se mide a partir del desplazamiento al rojo del espectro y la segunda a partir del estudio del flujo luminoso recibido o de las estrellas variables cefeidas (comparando el brillo aparente con el brillo real, deducible a partir de la medida de sus pulsaciones, puede calcularse la distancia). La constante mide, por así decir, el ritmo de la expansión del Universo y es inversamente proporcional a la edad del Universo: el inverso de la constante de Hubble $H^{-1} = D/v$ tiene unidades de tiempo, se denomina tiempo de Hubble y sirve para hacer una primera estimación del tiempo de expansión. El escollo era que la edad del Universo así estimada, cuando todas las galaxias se hallaban empaquetadas densamente, era mucho menor que la edad de la Tierra que arrojaban los métodos de datación radiactiva… ¡y la Tierra no podía ser más vieja que el Universo! Esta divergencia tan llamativa se suavizó a finales de los años 50 gracias a la recalibración llevada a cabo por Walter Baade, que permitió obtener medidas mejoradas del parámetro, pero su verdadero valor sigue sujeto a discusión. A día de hoy los dos equipos punteros de especialistas arrojan valores muy distintos para la constante de Hubble, de 72±7 y 57±3, aunque la comunidad científica se inclina más por los valores altos que por los bajos. Por su parte, la edad del Universo se cifra, recurriendo también

a otros métodos (como el estudio de las supernovas de tipo Ia, las más luminosas y uniformes), entre trece y catorce mil millones de años.

10. El gran empujón a la teoría cosmológica orlada por Lemaître sobrevino al acabar la IIGM con George Gamow. Este pintoresco físico de origen ruso estudió en la Universidad de Leningrado y completó estudios en diversas universidades europeas, para terminar asentándose en los Estados Unidos a mediados de los años 30. Al igual que otros físicos nucleares, Gamow se interesó por la cosmología porque la hipótesis del átomo primigenio de Lemaître podía servir para explicar la generación de los elementos químicos, que se habrían originado durante el proceso de carácter explosivo que tuvo lugar en el comienzo del tiempo y resultó en la expansión del Universo.

Hasta Gamow, la solución de Lemaître recibía apoyo únicamente de la relatividad general y de algunas observaciones astronómicas. Desde Gamow, contó además con el apoyo de la física de partículas. El fondo de la cuestión es el siguiente: si regresamos hacia atrás en el tiempo, llegará un instante en que el tamaño del Universo sea tan pequeño que la cosmología relativista entronque teóricamente con la física de partículas. Al modo en que antaño se había pasado de la astronomía a la astrofísica, se pasó de la cosmología matemática a la cosmología física.

En cosmología, Gamow defendía la evolución frente a la permanencia basándose en que las estrellas o los átomos tienen un origen en el tiempo, puesto que de lo contrario ya habrían desaparecido por el agotamiento de su energía o la desintegración radioactiva, respectivamente. Gamow destacó por aplicar repetidamente los resultados obtenidos en física nuclear a los procesos de evolución estelar. La abundancia cósmica de los elementos químicos decrece exponencialmente según aumenta el peso atómico; pero, sorprendentemente, la curva de abundancias naturales, después de alcanzar los elementos químicos con peso atómico próximo a 100, se hace plana, indicando abundancias iguales para todos los elementos de la mitad superior de la tabla periódica. Para Gamow, cualquier teoría que tratase de explicar la creación de los elementos químicos tenía que ser capaz de dar una explicación razonable de esta curva de abundancias, así como de las abundancias anormales observadas en las vecindades de los átomos con núcleos con números mágicos (aquellos átomos con capas nucleares completas, lo que los hace más estables frente a la desintegración nuclear).

Y aquí es donde Gamow desplegó, sobre la base del átomo primigenio de Lemaître (aunque sin citar sus trabajos), su hipótesis del «hylem» o «hilen» –del griego «materia prima», para Aristóteles–, la sustancia primordial de la que los elementos se formaron (Gamow: 1963, 84). El artículo fundamental, firmado por Alpher, Bethe (*in absentia*, ya que Gamow agregó su nombre con su peculiar humor para redondear) y Gamow, fue denominado el artículo alfabético (alfa, beta, gamma), y apareció en 1948. La abundancia de elementos ligeros no se explicaba por una síntesis en el interior de las estrellas (nucleosíntesis estelar) sino por su síntesis en el Universo temprano (nucleosíntesis primordial), a temperaturas muy elevadas (aunque esta condición no aparece en el artículo αβγ sino en otro posterior). Por ejemplo: el hidrógeno pesado o deuterio es, en número, el séptimo átomo del Cosmos. Su fragilidad hace que no resista las temperaturas típicas de los medios estelares. Arde con facilidad (a menos de un millón de grados), aunque también se necesita calor para formarlo. Si el deuterio se hubiese formado en los primeros instantes del Universo, la expansión posterior lo hubiera enfriado lo suficiente para conservarlo hasta la actualidad (los gases se calientan cuando se comprimen y se enfrían cuando se expanden), pues es demasiado frágil para ser producto de las estrellas. Análogamente, la abundancia chocantemente uniforme de helio en estrellas y nebulosas era, para Gamow, otra prueba de su formación primigenia, no estelar, puesto que la actividad acumulada de todas las estrellas del Cosmos no bastaba para dar cuenta de su gran abundancia. Si Lemaître fue el padre de lo que posteriormente se llamaría la teoría del Big Bang, Gamow lo fue de la teoría del Big Bang caliente.

A partir de este punto, basándose en que un gas sometido a fuerzas de gravitación y que llena un espacio ilimitado es intrínsecamente inestable y tiende a romperse en gigantescas nubes separadas, Gamow conjeturaba que el Universo primitivo comenzó a fraccionarse conforme se expandía. La jerarquía de estas condensaciones iría desde las galaxias y las nebulosas a las estrellas y los planetas, mediante un proceso que recuperaba la hipótesis de Laplace de una envoltura gaseosa en forma de lente que según gira condensa en anillos que en su centro dan lugar a una nueva estrella y en su periferia a los planetoides.

Sin embargo, la cosmología bosquejada por Gamow y Alpher fue desechada hasta mediados de los 60; por cuanto, a pesar de explicar la abundancia de elementos ligeros, no encaraba la formación de los elementos más pesados. Sin duda, también pudieron influir factores sociológicos, como que los cosmólogos de la época andaban más duchos en relatividad y astronomía que en física nuclear, o que sus autores cambiaron de campo en la década de los 50 (Gamow se pasó a la biología molecular y Alpher a la industria privada).

11. Crucemos el Atlántico. Dejemos a Gamow en EE.UU. y viajemos a Inglaterra. En 1948, Fred Hoyle y, por otro lado, Hermann Bondi y Thomas Gold propusieron una cosmología alternativa a la de Lemaître-Eddington. El modelo matemático que construyeron, conocido como la teoría del estado estacionario, extendía al tiempo el principio cosmológico enunciado por Milne para el espacio. Era el principio cosmológico perfecto: el Universo presenta el mismo aspecto desde cualquier localización espacial y en cualquier instante de tiempo. Aunque el Universo se está expandiendo, no cambia de apariencia con el tiempo, no tiene principio ni final.

La teoría del estado estacionario nació para dar una respuesta al problema de la incompatibilidad entre las medidas de la constante de Hubble y la edad del Universo estimada a partir de los objetos que contiene. ¿Cómo iba a ser el Universo más joven que los objetos que comprende? Esta discrepancia era vergonzante para la teoría del Big Bang, de la «Gran Explosión» (un término despectivo acuñado por Hoyle durante un programa de radio de la BBC en 1949 para referirse a la teoría defendida por Gamow y sus colegas). Además, Hoyle consideraba que la teoría del Big Bang recordaba en exceso al Génesis bíblico o, peor aún, a la chica que en las fiestas salía de la tarta.

El coste de que el Universo fuese estacionario, aunque no estático, era que el modelo del estado estable exigía una creación continua de materia. Para compensar el enrarecimiento de la materia en el Universo como consecuencia de la expansión, se precisaba que se creara del orden de un átomo nuevo de hidrógeno por litro de volumen cada mil millones de años. Esta creación *ex nihilo*, que posteriormente Hoyle y el astrofísico indio Jayant Narlikan localizarían en regiones del Cosmos bajo intensos campos gravitatorios, como el núcleo de galaxias, era (y es) prácticamente imposible de detectar; pero constituía el único modo

de contrarrestar la dilución de la materia provocada por la expansión de las galaxias. Este mecanismo de aparición de materia, a partir de la nada, violaba los principios de conservación más arraigados de la física, lo que hizo que la teoría del estado estacionario fuese perdiendo partidarios entre los cosmólogos; pero, como Hoyle aducía, la cosmología Big Bang requiere que toda la materia habida y por haber sea creada de una vez por todas en el momento del origen del Universo, y si la materia podía crearse de golpe, ¿por qué no podía también hacerlo de forma continua?

Por otra parte, a la teoría del estado estacionario también le costaba dar una explicación cuantitativa satisfactoria de la abundancia de elementos químicos en el Universo. Mientras que la cosmología Big Bang explicaba la abundancia de elementos ligeros (con la teoría de Gamow de la nucleosíntesis primordial) y fallaba en los elementos pesados, la cosmología estacionaria explicaba, recíprocamente, la abundancia de elementos pesados y fracasaba en los elementos ligeros. Hoyle todo lo fiaba a la nucleosíntesis estelar, una teoría que precisamente contribuyó a alumbrar. En varios libros de divulgación, como por ejemplo el titulado *La creación del Universo* (1952), Gamow arremetería contra la teoría del estado estacionario; pero en su autobiografía, muchos años después, imaginaría con su proverbial humor que Dios dijo «hágase Hoyle» (como en su momento dijera «hágase Newton») para que éste afirmara que los elementos pesados se fabricaban en las estrellas y se esparcían mediante las explosiones de supernovas, mientras que los elementos ligeros se fabricaron en el origen, como mantuvo Gamow.[49]

12. Saltemos ahora a 1965. Ese año dos ingenieros de la Bell Telephone, Arno Penzias y Robert Wilson, dieron a conocer que, mientras desarrollaban una antena supersensible con otros fines, habían detectado por casualidad una radiación de microondas, de muy baja temperatura (unos 3 K), que inundaba el Universo por igual y en todas direcciones. Incapaces de eliminar ese exceso de ruido en su antena

49 La observación del Universo lejano (es decir, dado que la velocidad de la luz es finita, del Universo antiguo) liderada por el astrónomo de Cambridge Martin Ryle mostró entre 1955 y 1960 que el número de radiofuentes era mayor que en el Universo cercano, lo que se correspondía más –para disgusto de Fred Hoyle, que adujo que el recuento era todavía muy incompleto– con la teoría de un Universo en evolución que con la de un Universo estacionario.

(llegando incluso a desarmarla para limpiarla de excrementos de palomas), que se mostraba isotrópico y extraterrestre, un amigo, profesor de física, les puso en contacto con un grupo de teóricos de la cercana Universidad de Princeton. Este grupo, comandado por Robert H. Dicke, y en el que también estaban astrofísicos como Jim Peebles y David Wilkinson, se estaba planteando por aquel entonces la búsqueda de una radiación que fuera el vestigio de los primeros instantes de vida del Universo, de la Gran Explosión caliente. Esta comunicación determinó que unos y otros se apresuraran a interpretar la radiación descubierta en el marco de la teoría del Big Bang. Era la *radiación cósmica de fondo* (Weinberg: 1996, caps. 3 y 6). Un radiotelescopio lo suficientemente sensible sintoniza una señal muy débil que permea el cielo, y en casa podemos recibir una pequeña fracción de la señal como parte de la nieve que llega a un canal en blanco de un televisor analógico.

En una misma entrega del *Astrophysical Journal* de 1965, Penzias y Wilson anunciaban la detección de una radiación térmica uniforme, y Dicke y su equipo ofrecían una teoría sobre la radiación residual de las primeras fases calientes del Universo. Aunque volveremos sobre ello, es importante caer en la cuenta de que no es que la teoría del Big Bang predijese la radiación cósmica de fondo y, posteriormente, ésta se encontrase. No. Primero, se encontró la radiación de fondo (de hecho, con anterioridad a Penzias y Wilson, varios astrónomos habían medido la temperatura del cielo obteniendo una media de 3 K, aunque sin apreciar su importancia) y, a continuación, se interpretó conforme a la teoría del Big Bang como remanente de la explosión inicial. Suele afirmarse a la ligera que la existencia de la radiación fue predicha por Gamow y sus colaboradores en 1948. Es más, suele añadirse que Alpher y Robert Herman llevaron los cálculos un poco más lejos (porque al bromista de Gamow solían atragantársele las matemáticas) y estimaron la magnitud de la radiación que bañaba el Universo. Pero, en primer lugar, el artículo αβγ no contenía mención alguna a una radiación térmica. En segundo lugar, Alpher y Herman no ofrecieron entre 1948 y 1950 una estimación de la radiación sino varias (el primer modelo predecía unos 5 K, otro 19 K y otro 5,9 K; además, Gamow predijo en 1952 unos 50 K). Y, en tercer lugar, el equipo que encabezaba Dicke no mencionó nunca ni se basó en los cálculos de

Gamow, Alpher y Herman. De hecho, la mejor estimación de los teóricos de Princeton era de 10 K. La hipotética deuda, que Gamow no dejó pasar, fue saldada un lustro después, cuando fue «reconocida» por Jim Peebles en su manual *Principios de cosmología física* (1971). Por otra parte, no se puede decir en puridad que al estudiar el fondo de microondas estemos contemplando el Universo cuando sólo tenía 300.000 años, porque lo único que nuestros detectores «ven» es cierta radiación con un espectro de cuerpo negro bastante perfecto que los cosmólogos interpretan de una manera y no de otra (López-Corredoira en Arana & *al.*: 2012, 86). Estos detalles, que pueden parecer oligofrénicos, tendrán posteriormente gran importancia gnoseológica.

Lo que es cierto es que el descubrimiento de la radiación de fondo significó el espaldarazo definitivo a la teoría del Big Bang y la sentencia de muerte de la teoría del estado estacionario, que aunque ha seguido siendo puesta al día por algunos de sus partidarios (teoría del estado cuasi-estacionario), ha de recurrir a hipótesis forzadas para salvar los fenómenos.

13. Durante los años 70 y 80 la teoría del Big Bang caliente se fue consolidando como el modelo cosmológico estándar. Pero no deja de ser paradójico, como subraya Hernández (2007), que la cosmología Big Bang se convirtiera en un paradigma en esta época, cuando existían problemas básicos como que aún adjudicaba al Universo una edad inferior a la de los cúmulos globulares o que contradecía las medidas realizadas de la densidad de materia.

El afianzamiento del Big Bang se produjo gracias a desarrollos en extremo teóricos, como la hipótesis de la inflación cósmica, de notable poder explicativo. En 1981, el físico de partículas Alan Guth propuso el modelo inflacionario, que dibuja un escenario en el que el Universo se expandió exponencialmente entre sus primeros 10^{-36} y 10^{-32} segundos, para resolver de una tacada varios problemas observacionales. Aunque independientemente Andrei Linde también dio con la idea de la inflación, Guth parió su idea tras una charla de Robert Dicke sobre cosmología y enseguida comprendió que no sólo resolvía el problema de los monopolos magnéticos y el de la curvatura nula del Universo, sino también el problema del horizonte y, de rebote, según se comprobaría más adelante, ayudaba con el del origen de las galaxias.

Vayamos de uno en uno. En primer lugar, el problema de los monopolos magnéticos, es decir, tal y como su nombre indica, de los imanes con un solo polo, un ente que según demostró Dirac la mecánica cuántica tolera. El modelo estándar de la física de partículas implica un Universo repleto de monopolos, cuando jamás se ha observado ninguno (con la excepción del monopolo de San Valentín, que un nieto de Blas Cabrera afincado en Stanford dijo observar en la noche del 14 de febrero de 1982 a su paso por un anillo superconductor). En un Big Bang sin inflación estas exóticas reliquias del caliente Universo primitivo deberían haber permanecido hasta la actualidad. La inflación barre estas y otras entidades anómalas. En segundo lugar, el problema de la curvatura del Universo, que tiene que ser prácticamente nula, ya que a gran escala nuestro Universo parece muy cercano a la planitud, lo que exige unas condiciones iniciales muy peculiares, que la inflación respetaría, aplanando cualquier ligera curvatura. En tercer lugar, el problema del horizonte cosmológico: ¿por qué partes del cielo causalmente desconectadas (porque la luz no ha tenido tiempo de viajar de una región a otra, ya que se encuentran en direcciones opuestas del firmamento) se nos muestran con la misma apariencia y con un fondo cósmico de microondas a la misma temperatura? De nuevo, un Big Bang sin inflación no logra explicar por qué el Universo parece estadísticamente tan homogéneo. Todo lo que hoy constituye el Universo observable provendría de una pequeña región que se encontraba en interacción antes de la fase de expansión exponencial. Y, en cuarto lugar, el problema de las perturbaciones gravitatorias que pudieron originar las galaxias. La inflación o expansión exponencial del Universo primitivo habría amplificado ciertas fluctuaciones cuánticas provocando ciertas inhomogeneidades que serían las semillas de las galaxias.

No obstante, no existe un único modelo de inflación cósmica. Además, estos modelos dependen de las teorías de la gran unificación, pero por mucho que se repita este sintagma o sus siglas en inglés (GUT) no hay una teoría física robusta y que no esté huérfana de contraste experimental para ese rango de energía donde se unifican tres de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza: la fuerza electromagnética, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil. Finalmente, el escenario inflacionario postula como mecanismo *ad hoc* de la inflación un campo escalar, el *inflatón*, totalmente desconocido.

Los cosmólogos aseguran que realmente entendemos los procesos físicos que sucedieron en los primeros minutos de evolución del Universo. Un relato casi cinematográfico canonizado en sus líneas generales con la publicación en 1977 del libro *Los tres primeros minutos del Universo* del prestigioso físico teórico Steven Weinberg. El Universo comenzó con un estado de densidad, presión y temperatura extremadamente altas, que requieren una teoría que utilice la mecánica cuántica y sea al mismo tiempo consistente con la relatividad general (aunque de momento no existe tal teoría). Esta es la llamada era de Planck, entre los 0 y los 10^{-43} segundos de vida del Universo. El periodo comprendido entre los 10^{-43} y los 10^{-35} segundos es la época de la gran unificación, donde el electromagnetismo y las fuerzas nucleares fuerte y débil eran una sola fuerza (otra época ayuna de una teoría sólida). La fuerza nuclear fuerte se separó a los 10^{-35} segundos de las otras dos. Y en ese momento comenzó (supuestamente) el periodo inflacionario. El Universo se expandió durante unos instantes a una velocidad asombrosa, aumentando su tamaño en un factor de 10^{50}. Acabada la inflación a los 10^{-32} segundos, conforme el Universo se expandía y la temperatura descendía rápidamente, las fuerzas electromagnética y débil se separaron (a los 10^{-12} segundos). Se formaron los quarks y, posteriormente, los protones y los neutrones. En esos instantes las cantidades de materia y antimateria eran prácticamente iguales; pero, dado que hoy en día casi no existe antimateria, se supone que hubo un pequeño exceso de la primera sobre la segunda. Aproximadamente a los tres minutos de la Gran Explosión, comenzó la nucleosíntesis o producción de los elementos ligeros: el 98% del helio del Universo se produjo en estos segundos. Cuando la temperatura descendió hasta unos 3.000 grados Kelvin, 380.000 años después, la materia y la radiación se desacoplaron, generando una radiación fósil que quedó libre en el Universo: la radiación cósmica de microondas, que se ha ido enfriando progresivamente hasta alcanzar una temperatura muy baja (de unos 3 K). Esta radiación de naturaleza altamente isótropa ofrece una especie de foto fija del Universo temprano, mostrándonos que éste era casi completamente uniforme en este estadio. Pero, entonces, ¿cómo pudieron formarse las grandes estructuras que observamos hoy? La respuesta está, según los cosmólogos, en las pequeñas anisotropías o irregularidades de la temperatura de la

radiación cósmica de fondo, generadas teóricamente durante la inflación, que serían las precursoras alrededor de las cuales se formarían esas estructuras (aunque todavía se está lejos de comprender cómo se originaron estos grumos).

14. A principios de los 90 (la década prodigiosa), el panorama mejoró sensiblemente como consecuencia de varios proyectos experimentales. Recordemos que si se supone que el Universo a gran escala es homogéneo e isótropo, a partir de las ecuaciones de la relatividad general pueden obtenerse las ecuaciones de Friedmann. Estas ecuaciones determinan, junto con una ecuación de estado que describa las propiedades termodinámicas del material cósmico, la dinámica del Universo en función de los valores que tomen una serie de parámetros, como la densidad del Universo, la constante de Hubble o el radio de curvatura. Esta es la razón de que gran parte de los esfuerzos de los cosmólogos de finales del siglo XX fuesen encaminados a estimar con precisión sus valores reales. El reto de la cosmología era principalmente determinar la curvatura geométrica del Universo a la luz de los datos disponibles, porque la curvatura espacial decide dentro del modelo cosmológico la evolución futura del Universo y, por tanto, si la expansión continuará indefinidamente o se iniciará más tarde o más temprano un periodo de contracción (Big Crunch). La evolución del Universo puede esquematizarse sumariamente en tres tipos de espacio-tiempo. Si el Universo contuviera mucha materia, la gravedad frenaría la expansión y provocaría un colapso final (espacio-tiempo cerrado, esférico, con curvatura positiva). Si el Universo contuviera poca, se expandiría siempre de modo acelerado (espacio-tiempo abierto, hiperbólico, con curvatura negativa). Existe, no obstante, un valor crítico de la densidad de materia, que se sitúa en la línea divisoria entre los dos tipos de espacio-tiempo anteriores y se asocia con una expansión eterna a velocidad constante (espacio tiempo abierto, plano, con curvatura nula).

Las mediciones del fondo cósmico de microondas realizadas por el satélite COBE de la NASA en 1992 se mostraron compatibles con un valor de la densidad de materia y energía igual al valor crítico que determina la planitud y, por tanto, la geometría euclídea a escala global del Universo, lo que encajaba con el modelo inflacionario. En 1999, Boomerang, un globo estratosférico provisto de un radiotelescopio,

logró medir las variaciones minúsculas de la temperatura de la radiación de fondo, arrojando unas observaciones que parecieron caídas del cielo, porque volvían a ser compatibles con un Universo con densidad crítica. Y, en 2003, la sonda espacial estadounidense WMAP repitió las mediciones de las pequeñas arrugas de la radiación de fondo. Sus resultados, que eran 35 veces más precisos que los del proyecto COBE, tornaron a concordar con un Universo plano. (Hemos de recalcar que esta ausencia de curvatura se refiere al Universo como si toda la materia estuviese uniformemente distribuida, y nada tiene que ver con las grandes curvaturas generadas por la presencia de cuerpos celestes muy masivos, que localmente distorsionan la planitud del Universo.) Las simulaciones predecían que si la geometría del Universo era plana, las anisotropías de la radiación de fondo tenían que estar formadas por puntos fríos y calientes distribuidos de una cierta manera, ya que una geometría curva hubiera desviado los rayos de luz y distorsionado la distribución. La comparación entre la simulación y la imagen reconstruida a partir de las mediciones de la sonda indicó que la geometría del Universo era casi plana.

Ahora bien, si el Universo es casi plano, es que su densidad actual está muy próxima a la densidad crítica necesaria para detener la expansión. El problema es que la cantidad de materia y energía ordinarias, visibles, no basta ni de lejos para alcanzar ese valor, lo que ha conducido a los cosmólogos a postular la existencia de una materia y una energía oscuras, de las que más adelante hablaremos ya que su naturaleza es tema de enconado debate (mientras que del término «materia oscura» o «materia no visible» se tiene noticia desde l933, el término «energía oscura» se acuña en 1998). Por otra parte, las observaciones presentadas en 1998 y las realizadas durante la primera década del siglo XXI sobre la variación del brillo de ciertas supernovas de tipo Ia en los confines del Universo observable se han interpretado como que la expansión no sólo no se está frenando sino que se está acelerando, ya que algunas de ellas se encuentran más alejadas de lo esperado dado su débil brillo y su elevado corrimiento al rojo (si se representan en una gráfica como la que muestra la figura 6, se observa que la recta se curva ligeramente en la zona de grandes distancias, lo cual indicaría una expansión acelerada). Pero, ¿por qué? Los cosmólogos miran a la constante cosmológica, que

desaparece y reaparece como un fantasma teórico en los modelos. Actualmente se reintroduce en las ecuaciones de campo de la relatividad general a fin de representar un efecto repulsivo que compense la tendencia al colapso de la materia, y que algunos físicos teóricos relacionan con la energía oscura (cuando ésta no se interpreta como una quintaesencia) y otros con la contribución del vacío cuántico (en permanente ebullición de pares virtuales de partículas) a la densidad del Universo. El problema de la constante cosmológica está, empero, lejos de cerrarse.

Se denomina modelo Lambda-CDM o ΛCDM (del inglés, Lambda-Materia Oscura Fría) al modelo cosmológico con casi medio siglo de rodaje que hoy se emplea de forma estándar para interpretar los nuevos datos cosmológicos y con el que concuerdan, tras múltiples reajustes, la gran mayoría de observaciones cosmológicas de la estructura a gran escala del Universo, de la radiación de fondo de microondas y de supernovas. La Lambda o Λ remite a la constante cosmológica, a la que se adjudica dentro del modelo un valor no nulo y se vincula con la energía oscura o una energía del vacío. El resto de siglas remiten a la clase de materia oscura que admite el modelo. (No obstante, el modelo nada dice sobre la naturaleza última de la materia o la energía oscuras, ni se compromete con una extensión incorporando escenarios inflacionarios o quintaesencias.) Este modelo cosmológico consiste, en resumidas cuentas, en un conjunto de simplificaciones que se imponen a las ecuaciones de Einstein que describen la dinámica de los campos gravitatorios. Estas suposiciones se justifican por las observaciones sobre homogeneidad a grandes rasgos en todas las direcciones y desde todos los puntos del espacio (principio cosmológico). A esto hay que añadir una modelización de la estructura de las leyes físicas a pequeña escala, esto es, de la física de partículas, que establece el tipo de materia que puede servir de fuente para la creación del campo gravitatorio en las ecuaciones relativistas. Los cosmólogos actuales se inclinan por un Universo plano, de densidad crítica y en perpetua expansión acelerada, cuya edad calculan en torno a los 13,8 mil millones de años. La temperatura actual del fondo cósmico de microondas es de 2,725 K. Y se estima que la composición del Universo es la siguiente, a saber: 5% materia ordinaria, 27% materia oscura y 68% energía oscura.

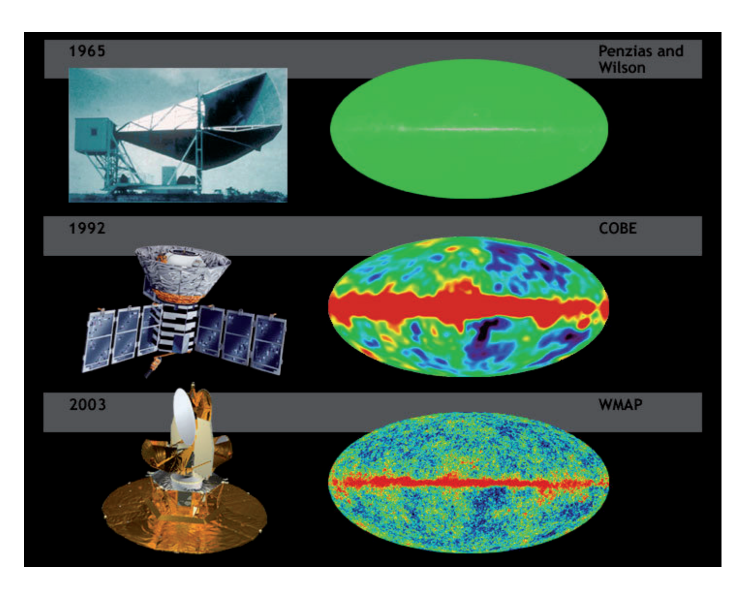


Figura 9: *Sucesivas mediciones de la radiación cósmica de fondo (obsérvese la mejoría en la precisión). La forma oval es una proyección cartográfica para mostrar la totalidad del firmamento. Los colores indican los puntos más calientes y fríos, las pequeñas anisontropías (en el centro, en rojo, nuestra galaxia, la Vía Láctea)*

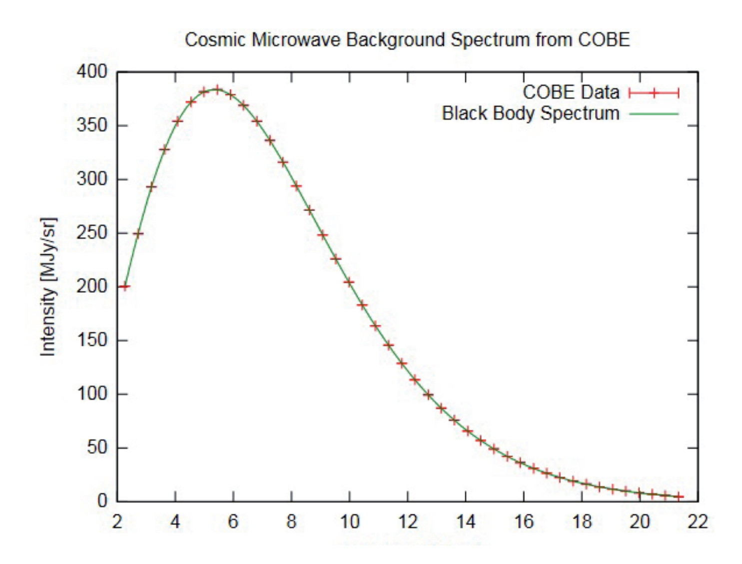


Figura 10: *La confluencia «milimétrica» que muestra la gráfica entre la distribución de Planck del cuerpo negro (la línea continua) y el conjunto de mediciones del espectro de la radiación cósmica de fondo (las cruces pequeñas) es un ejemplo de identidad sintética, construida gracias al espectrofotómetro FIRAS del satélite COBE de la NASA*

15. Terminamos esta sección esclareciendo cómo la cosmología Big Bang soluciona una vieja paradoja: ¿por qué es oscuro el cielo nocturno? Hermann Bondi popularizó en los años cincuenta este viejo interrogante, denominándolo la «paradoja de Olbers» en honor del astrónomo germano Heinrich Olbers (1758-1840) que publicó un artículo en 1826 planteando el problema, aunque la idea se remonta a pensadores anteriores (en concreto, a Edmond Halley). En un Universo infinitamente grande, estático y eterno uno encontraría la superficie de una estrella en cualquier dirección que mirase, al igual que en un bosque suficientemente grande uno siempre encuentra un tronco de árbol en la línea de visión en cualquier dirección que se le ocurra mirar. Eso implicaría que el cielo tendría que ser tan brillante como la superficie solar. Pero no lo es. ¿Por qué? Primero se nos podría ocurrir que el gas y el polvo que hay en el espacio pueden absorber parte de la radiación. Y efectivamente así es. Pero esa radiación contribuye a calentarlos, de manera que en un Universo estático y eterno el gas y el polvo terminarían por estar a la misma temperatura que las superficies estelares, re-emitiendo la radiación absorbida. Como no parece que vayamos bien por esta línea de pensamiento, hay que poner en duda la hipótesis de partida, es decir, presuponer que el Universo sea infinitamente grande, estático o infinitamente antiguo.

La teoría del Big Bang nos presenta un Universo en expansión y de edad finita. La expansión disminuye la frecuencia de la radiación que nos llega y, por tanto, su energía; y la edad finita hace que exista un límite de distancia más allá del cual no nos puede llegar ninguna luz. Cualquiera de los dos efectos por separado sirve para evitar la paradoja. Pero ambos actúan al mismo tiempo y explican el hecho de que la cantidad de luz que nos llega de todas las estrellas del fondo del cielo sea tremendamente pequeña en comparación con la que recibimos del Sol. Abreviando: la oscuridad del cielo nocturno constituye una evidencia en contra de un Universo infinitamente viejo (otra evidencia clásica proviene del segundo principio de la termodinámica: si el Universo hubiese existido desde siempre, ya habría alcanzado el equilibrio térmico).

Capítulo 20
Problemas científicos abiertos

1. La cosmología Big Bang tiene pendiente la resolución de una serie de problemas científicos y filosóficos de primer orden. En el presente capítulo abordamos los problemas científicos que permanecen abiertos a día de hoy (y que, como enseguida comprobaremos, entroncan con temas clásicos de la filosofía de la ciencia, como la unificación, la abducción, &c.). Así, en primer lugar, hay que referirse al que plantea el límite hacia atrás de la cosmología. En efecto, la teoría del Big Bang parece explicarlo todo desde el inicio del tiempo; pero es preciso poner de relieve que el modelo ΛCDM sólo es válido, en puridad, a partir del tiempo de Planck, esto es, a partir de los 10^{-43} segundos de vida del Universo. Porque antes la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica no casan, son incompatibles. Mientras que la primera es una teoría determinista, que respeta el principio de localidad y se basa en una concepción continua del macrocosmos, la segunda es una teoría indeterminista, que viola el principio de localidad y sustenta una concepción discontinua del microcosmos. Si la teoría de la relatividad prohíbe la trasmisión de señales con velocidad superior a la de la luz, la mecánica cuántica parece permitir las acciones instantáneas a distancia. Y la forma geométrica lisa del espaciotiempo relativista es irreconciliable con las violentas fluctuaciones de la espuma cuántica. Es uno de los problemas centrales de la física actual. Además, para no faltar a la verdad, hemos de añadir que en

rigor el modelo ΛCDM también presenta dificultades entre el tiempo de Planck y los 10^{-35} segundos, es decir, durante la etapa de génesis del Universo que se corresponde con el periodo de la gran unificación y el inicio de la expansión inflacionaria; puesto que este intervalo de tiempo también se encuentra huérfano de una teoría consistente y contrastada experimentalmente.

La unificación es, según el físico Lee Smolin (2007, 51), la meta más apreciada en física. De hecho, el filósofo Philip Kitcher (1993, 171) ha defendido una concepción del crecimiento del conocimiento científico y de la explicación científica basada en la búsqueda de unificación. Newton unificó los fenómenos terrestres y celestes, la caída de los graves y la órbita de los planetas. Maxwell, los campos eléctricos y magnéticos, incluyendo la propagación de la luz. Einstein, en la relatividad especial, el espacio, el tiempo, la masa y la energía; y, en la relatividad general, la gravedad y la geometría del espacio-tiempo. La mecánica cuántica, las partículas y las ondas. Y el modelo electrodébil de Salam-Weinberg, la electrodinámica cuántica y la interacción débil (modelo de Fermi). Por su parte, las teorías tentativas de la gran unificación (GUTs), que todavía no están firmemente establecidas, intentan unificar el modelo electrodébil (la fuerza electromagnética y la interacción débil) y la cromodinámica cuántica (que describe la interacción fuerte), basándose en el gran orgullo de los físicos: el modelo estándar de la física de partículas elementales (la teoría canonizada, desde los años setenta del pasado siglo, sobre partículas y fuerzas, excluida la gravitación). Y, por último, las teorías de la súper unificación o teorías del todo (TOEs) pretenden reunir las tres fuerzas antedichas con la gravitación, con la relatividad general de Einstein. La «teoría del todo» ha de ser una teoría que cuantice la gravedad. De momento, la única candidata es la teoría de cuerdas. Pero, como dice Rivadulla (2015, 81), la teoría de cuerdas está contra las cuerdas. El problema de su cientificidad es insoslayable. Caiga quien caiga. Y constituye un fértil ejemplo de la vigencia indiscutible de la filosofía de la ciencia.

En 1970, Leonard Susskind y otros desarrollaron un modelo de cuerda unidimensional, que reemplaza a las fuerzas y las partículas elementales, pues todas ellas no serían sino modos de vibración de una cuerda fundamental, incluyendo aquí la gravedad. Pero estos intentos por unificar la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad no

han dado los frutos esperados. Ningún experimento ha evidenciado en los últimos treinta años la existencia de las cuerdas, las supercuerdas o las branas requeridas por la teoría. Los físicos se han apresurado a complicar la teoría de forma que se explique por qué es prácticamente imposible observar ninguna de sus predicciones en los aceleradores de partículas, ya sean los selectrones, los taquiones o las dimensiones espaciales extra. Cualquier resultado negativo puede salvarse reajustando las constantes o enroscando las dimensiones adicionales. «Es el tipo de teorización que no puede fallar ya que cada discrepancia con los datos puede ser eliminada retorciendo ciertos parámetros» (Smolin: 2007, 114). Así, en los años ochenta, se pasó de las cuerdas a las supercuerdas y, ya en los noventa, a la teoría M propuesta por Edward Witten, un marco en el que se fusionarían la mecánica cuántica, la relatividad general, las fuerzas nucleares fuerte y débil y el electromagnetismo. Todo, en suma. Nos encontramos, pues, ante la arquetípica estrategia de inmunización contra la falsabilidad –que, para Popper, era la garantía de la cientificidad– de que hablara Lakatos. La teoría de cuerdas parece acomodarse a cualquier resultado experimental, por lo que no puede ser refutada ni confirmada. Con los problemas anejos de que no hay una única teoría coherente de cuerdas, sino muchas. Su cifra asciende, según Smolin (2007, 18), a la friolera de 10^{500} teorías distintas, y donde la complejidad de las ecuaciones sólo permite deducir soluciones aproximadas con ecuaciones aproximadas. Además, la mayoría de ellas prescriben un Universo con hasta once dimensiones y con más partículas y fuerzas de las detectadas hasta el momento. La conclusión de Smolin (2007, 22) es demoledora:

> Si las nuevas dimensiones y las simetrías no existen, contaremos a los teóricos de cuerdas entre los mayores fracasos de la ciencia, igual que a aquellos que continuaron trabajando en los epiciclos ptolemaicos mientras Kepler y Galileo avanzaban. Su historia será una advertencia sobre cómo no hacer ciencia, sobre cómo no permitir que la conjetura teórica supere los límites de lo que puede ser argumentado racionalmente, hasta el punto de comenzar a fantasear.

Como señala Rivadulla (2015, 84), hay más físicos punteros entre los detractores de la teoría de cuerdas: Richard Feynman, Sheldon Glashow, Gerard ‘t Hooft… Sin embargo, otros como Stephen Hawking o el propio Leonard Susskind no disimulan su optimismo

para con el futuro de la teoría de cuerdas. Y Steven Weinberg, citado por Rivadulla (2015, 133-134), expresa que «hemos visto la electrodinámica y las teorías de otras fuerzas de la naturaleza fundirse en el modelo estándar de la física de partículas, esperamos que en el siguiente paso hacia delante en física veamos a la teoría de la gravedad y todas las diferentes ramas de la física de partículas fluir juntas hacia una sola teoría unificada». Pero, por el momento, como aduce Smolin (2007, 16-17), todas las teorías que han sobrepasado el modelo estándar pueden clasificarse en dos tipos: o bien eran falsables y fueron falsadas (caso de SU(5), por cuanto no se ha observado la desintegración de ningún protón); o bien no han sido examinadas, sea porque no hacen predicciones claras, sea porque la tecnología actual no permite la comprobación experimental de las posibles predicciones (como es el caso, por ambas razones, de la teoría de cuerdas). Esta idea aureolar de la unidad de la ciencia, que suele acompañar las especulaciones presocráticas de los físicos teóricos en torno a una «teoría del todo», no demuestra más que una creencia ingenua en una suerte de monismo ontológico y gnoseológico, donde no habría discontinuidades entre las categorías que conforman nuestro mundo. Sólo es eso: una creencia o un desiderátum, que dice más del fundamentalismo científico que adorna la cabeza del que la profiere que de cómo es en realidad el Universo.

La cosmología implica, en suma, las más arriesgadas extrapolaciones de la física conocida, tanto en el espacio y el tiempo como en la escala energética, conduciéndonos a las fronteras de lo más grande (astrofísica), de lo más pequeño (física de partículas) y de las leyes más básicas (teoría de la relatividad y mecánica cuántica). El modelo cosmológico de la Gran Explosión se apoya en la teoría general de la relatividad, así como en el modelo estándar de la física de partículas por lo que se refiere a los primeros estadios de la expansión del Universo, y ello a pesar de que durante decenios no se ha encontrado indicio alguno que permita fusionar ambos marcos y formular una teoría cuántica de la gravitación.

2. El segundo problema científico que tiene abierto la cosmología Big Bang tiene que ver con la teoría de la inflación cósmica. Esta teoría o, más bien, este conjunto de teorías se acepta porque resuelve más problemas de los que plantea. Pero cosmólogos como George

Ellis tachan las teorías inflacionarias de metafísicas, ya que parecen una solución *ad hoc* para algunos de los principales enigmas de la cosmología Big Bang estándar (problemas del horizonte o de la simetría observada del Universo, del ajuste fino de la curvatura nula y de los monopolos magnéticos), sin que haya rastro alguno de ese campo escalar denominado inflatón que estaría detrás de la expansión exponencial del Universo en su época más temprana. En palabras de Ellis (2007, 8.1.1):

> Es su poder explicativo lo que hace la inflación tan atractiva a los físicos, incluso a pesar de que la física subyacente ni está bien definida ni ha sido puesta a prueba, y de que sus más importantes predicciones observacionales a gran escala son incontrastables. […] Para la mayor parte de los físicos el poder explicativo le gana a la falta de identificación y verificación experimental de la física subyacente.

La adición de características especiales y el reajuste de parámetros libres en la especulativa teoría de la inflación con el fin de salvar las apariencias observadas recuerda en exceso al añadido de epiciclos en el sistema ptolemaico, porque las propiedades del hipotético inflatón que impulsaría la inflación pueden adaptarse de manera que se reproduzca prácticamente cualquier resultado (Earman & Mosterín: 1999; Mosterín: 2000).

Por otra parte, los cosmólogos inflacionarios no suelen detenerse ahí y plantean especulaciones aún más osadas: «Nada nos impide ceder a la tentación especulativa y dar un paso más: el Universo ha evolucionado desde exactamente nada» (Guth & Steinhardt: 1984, 79). Sin embargo, la idea de que el Universo surgió como una fluctuación cuántica del vacío es de momento ciencia-ficción, puesto que la teoría dentro de la que debería expresarse (la gravedad cuántica) aún no existe.

3. El tercer problema cosmológico tiene relación con la existencia y la naturaleza de la materia oscura y de la energía oscura (y por extensión, a través de esta última, con el problema de la constante cosmológica, su contribución significativa a la densidad de energía del Universo en el vacío y «la peor predicción de la historia de la física», es decir, la diferencia en más de 100 órdenes de magnitud entre la estimación del modelo matemático y el valor observado).

Mientras que la deducción y la inducción suele decirse que son los dos métodos de justificación por antonomasia en física, la abducción es la herramienta de descubrimiento preferida. Charles Sanders Peirce tradujo el término aristotélico *apagogue* como abducción o retroducción (Rivadulla: 2015, 87). El razonamiento abductivo o apagógico consiste en la conjetura o inferencia falible de una hipótesis para explicar un cúmulo de observaciones. Es el proceso mismo de invención o formación de una hipótesis explicativa. Puede esquematizarse así: El hecho sorprendente B es observado; pero si A fuese verdadera, entonces se daría B; luego hay razón para inferir que A es verdadera. Interesa señalar que con la postulación de la materia y de la energía oscuras, que conformarían el 95% de la realidad (¡¡correspondiendo solamente el 5% restante a la materia ordinaria!!), los cosmólogos están siguiendo una estrategia abductiva, es decir, una clase de razonamiento que no constituye una demostración sino, en el mejor de los casos, una inferencia a la mejor explicación. Exactamente igual que en el siglo XIX lo siguió el astrónomo Urbain Le Verrier. En 1845, para explicar las anomalías en la órbita del primer planeta telescópico, de Urano, Le Verrier postuló la existencia de un planeta externo cuya interacción gravitacional explicaría las irregularidades en el movimiento del primero. El descubrimiento, un año después, en 1846, del planeta Neptuno por parte del astrónomo Johann Gottfried Galle confirmó la abducción del astrónomo francés (con algo de suerte, porque la posición del cielo en esas fechas ayudó notablemente). Sin embargo, a veces se nos olvida que la estratagema *ad hoc* de Le Verrier falló a la hora de explicar las anomalías orbitales de Mercurio. El planeta interno que postuló, llamado Vulcano, entre el Sol y Mercurio, jamás fue encontrado, a pesar de que su «descubrimiento» fue anunciado en 1860, 1862, 1865 y 1878, incluso por reputados astrónomos (de nuevo constatamos cómo no hay descubrimiento sin previa justificación). Y el avance anómalo del perihelio de Mercurio hirió de muerte a la mecánica newtoniana, dejando el camino abierto para que la teoría de la relatividad general de Einstein resolviera el problema.[50]

50 Este episodio inspiró a Lakatos (1989, 27-28) para ilustrar cómo el centro firme de un programa de investigación tiende a rodearse de un cinturón protector de hipótesis auxiliares, dotado de un evidente poder heurístico si se verifican predicciones novedosas, pero que también puede conducir a la degeneración del programa si lo inmuniza por completo contra la falsación empírica.

Por otro lado, el razonamiento abductivo que condujo de forma acertada al descubrimiento de Plutón para explicar las variaciones en la órbita de Neptuno, hoy sabemos positivamente que era falso, puesto que no había tales perturbaciones en la órbita de Neptuno sino un cálculo inexacto de su trayectoria.

En nuestros días, los cosmólogos postulan la materia oscura para explicar las curvas de rotación galáctica, en otras palabras, las velocidades a las que las estrellas giran alrededor del centro de cada galaxia. Si aceptamos la mecánica celeste newtoniana, estas velocidades deberían desplomarse hasta casi cero conforme nos alejamos del centro de la galaxia y, sin embargo, llegado un punto permanecen prácticamente planas, constantes. En vez de modificar las leyes de Newton (como sugieren de forma marginal algunos físicos, corrigiéndolas con la adición de un pequeño factor, en lo que se conoce como teoría MOND o dinámica newtoniana modificada, que constituye una alternativa[51] a la materia oscura), los cosmólogos presuponen la existencia de un halo de materia oscura, que no emite radiación, en torno a las galaxias, que sería responsable de la velocidad de rotación uniforme que se observa. Antes de abandonar a Newton y, por extensión, a Einstein, cuyas ecuaciones han sido confirmadas significativamente, los cosmólogos conciben una nueva variante de materia. De hecho, estudiando los cúmulos galácticos, el astrónomo suizo Fritz Zwicky conjeturó ya en 1933 que no bastaba la masa realmente observada para explicar la velocidad orbital ni la forma resultante, asumiendo la existencia hipotética de una materia oscura, no visible.[52] Existen, en suma, indicios de ella en la cinemática de distintos objetos así como en las anisotropías

51 Mordehai Milgrom propuso en 1983 modificar parcialmente la segunda ley de Newton para explicar la elevada velocidad de rotación que se mantiene casi constante en la parte externa del disco de las galaxias espirales. Sin embargo, el gran problema de la teoría MOND, que permitiría soslayar la materia oscura al precio de modificar la dinámica, es que no tiene una extensión relativista, cuando la relatividad general se aplica bien a escalas superiores a la galáctica (al explicar, por ejemplo, el efecto conocido como lente gravitatoria). Algunos cosmólogos encuentran evidencia adicional para modificar las leyes de Newton a cierta escala en la anomalía que están mostrando las Pioneer 10 y 11 al abandonar en direcciones opuestas el Sistema Solar: ambas naves están experimentando una pequeña e inesperada atracción adicional hacia el Sol.

52 Fritz Zwicky también es famoso por ser el astrónomo que se opuso a la interpretación del corrimiento al rojo como una manifestación del efecto Doppler, proponiendo la interpretación alternativa de la *luz cansada*: el desplazamiento al rojo sería consecuencia de la pérdida de energía de la luz en proporción a la distancia recorrida.

de la radiación de fondo. Al no emitir la suficiente radiación electromagnética, la materia oscura no es detectable directamente con los medios tecnológicos actuales, pero su presencia se infiere de los efectos gravitacionales en la materia visible. Así, en 2006, utilizando el efecto de lente gravitatoria predicho por la relatividad general, se constató indirectamente. Se trata, pues, de un caso ejemplar de abducción.

Antes de 1980 se admitía que la materia oscura era alguna clase de materia ordinaria en alguna forma no detectable como gas, estrellas de baja masa o cadáveres estelares; pero desde entonces se piensa en una materia oscura exótica, formada por neutrinos u otras partículas aún desconocidas en los laboratorios de altas energías. En concreto, el modelo ΛCDM presupone la existencia de una materia oscura fría[53] ya que su inserción en las simulaciones por ordenador de la formación de estructuras galácticas consigue mejorar la semejanza de la simulación con lo observado. Parece necesaria para permitir el crecimiento de estructuras. Es, por consiguiente, otra hipótesis que añadir al modelo de concordancia en que consiste la cosmología Big Bang.

La misma clase de elocuente propuesta abductiva y, por tanto, falible, nos encontramos en la postulación de la energía oscura. En 1998 la observación de supernovas distantes cuya luz era más débil de lo esperado se interpretó como un signo de que la expansión del Universo se estaba acelerando. De hecho, se «decidió» que el Universo se hallaba en expansión acelerada mediante una democrática votación en un congreso científico celebrado en mayo de ese año (Cepa: 2007, 54). Esto orientó a los cosmólogos a postular la existencia de una energía oscura asociada a la constante cosmológica de Einstein que aparece en las ecuaciones de la relatividad general y que, a tenor de su signo, se trataría de una fuerza repulsiva que estaría detrás del impulso en la expansión (como va dicho, algunos cosmólogos ligan el valor no nulo de la constante cosmológica con una densidad de energía del vacío en el Universo, una característica que requieren los modelos inflacionarios y serviría de coartada para una incorporación de la teoría cuántica en la cosmología relativista). Para Cepa (2007, 464), se precisan más mediciones independientes en relación con la energía oscura que acelera

53 A diferencia de la materia oscura caliente (cuyo candidato más probable es el neutrino, que viaja a velocidades relativistas), la materia oscura fría estaría formada por partículas que no se mueven a velocidades cercanas a la de la luz.

la expansión; porque no está de más recordar, siguiendo al cosmólogo George Ellis (2007, 4.2.2; 2014, 3.4), que la observación de supernovas que se interpreta como una prueba a favor de la existencia de la energía oscura también podría interpretarse como una prueba de la inhomogeneidad del Universo: que el cuestionamiento del principio cosmológico resulte poco atractivo no quiere decir que sea incorrecto.

En resumen, la abducción de la materia y la energía oscuras podría desembocar en un nuevo Neptuno, pero también en un nuevo Vulcano, habida cuenta de que de momento se ignora por completo su naturaleza y composición específicas (un detalle a tener en cuenta es que, mientras los astrónomos postulaban *otro* planeta, los cosmólogos postulan un *nuevo* tipo de materia y energía). Si en los próximos años no se encuentra una base física para la materia oscura ni para la energía oscura, y se hace necesario introducir cada vez más parámetros *ad hoc* para evitar inconsistencias entre el modelo cosmológico y los datos astrofísicos, lo más probable es que la cosmología Big Bang acabe compartiendo destino con la teoría ptolemaica de los epiciclos o la física del éter (y, en este supuesto, los físicos tendrían que plantearse en qué modo la gravedad se modifica a grandes escalas). Desde coordenadas gnoseológicas, no deja de ser sorprendente que el modelo ΛCDM de la cosmología estándar se caracterice por que el 95% de la materia y la energía que incluye sea de carácter desconocido. Es más, mientras que la materia oscura parece extremadamente difícil de detectar mediante interacción con un detector[54], la energía oscura es imposible de detectar experimentalmente, puesto que su densidad de energía es demasiado pequeña y uniforme (Smeenk & Ellis: 2017, §2.4). Otra diferencia radica en que los indicios que apuntan a la existencia de la materia oscura provienen de la astrofísica (de la dinámica de las galaxias), mientras que los que apuntan a la existencia de la energía oscura dependen esencialmente de la propia cosmología (Smeenk: 2013, §3).

4. En cuarto lugar, nos encontramos con el problema que plantea la asunción del principio cosmológico. Esta suposición se torna plausible a

54 El año 2016 se cerró con el fracaso del detector subterráneo LUX para detectar la interacción de las supuestas partículas que constituyen la materia oscura con 370 kilogramos de xenón líquido ultrapuro, así como con el resultado negativo del famoso acelerador LHC del CERN para detectar otra partícula candidata a formar la materia oscura, cuya existencia predecía la teoría de la supersimetría (relacionada con la teoría de supercuerdas).

la luz de la evidencia empírica, porque los mapas galácticos se muestran homogéneos a gran escala y la radiación cósmica de fondo es altamente isótropa. El principio se emplea en múltiples contextos: desde interpretar la ley de Hubble a resolver las ecuaciones (no lineales) de Einstein. Pero también sirve de base a toda la modelización, ya que asume implícitamente que las leyes de la física son las mismas *aquí abajo* que *allí arriba*, *ahora* que *entonces*. Es el principio copernicano: nuestro lugar en el Cosmos no es especial. Pero la creencia en la validez universal de las leyes científicas, en la legitimidad de su extrapolación más allá del ámbito controlable empíricamente, es antes un supuesto filosófico que un principio científico. Dalla Chiara & Toraldo di Francia (2001, 223) se refieren a él como el postulado de uniformidad de la Naturaleza en el espacio y en el tiempo; porque cuando los científicos afirman que la carga del electrón es $1{,}6\cdot10^{-19}$ C o que la energía se conserva, están queriendo decir que todos los electrones del Universo presentan, han presentado y presentarán esa carga o que todos los procesos en el Universo satisfacen, han satisfecho y satisfarán la conservación de la energía. De hecho, la cosmología emplea la teoría general de la relatividad en escalas de 14 órdenes de magnitud superiores a los que ha sido testada (Smeenk & Ellis: 2017, §1).

5. Y en quinto y último lugar, una retahíla de problemas, algunos considerados resueltos, pero que todavía podrían deparar alguna sorpresa. Entre ellos se cuentan el problema de las abundancias relativas de litio-7 (donde las mediciones no concuerdan exactamente con las estimaciones), el problema de la asimetría materia-antimateria (que se sabe que ha tenido que existir, dado que a día de hoy apenas se detecta antimateria, pero cuyo mecanismo sólo se conoce a grandes rasgos), el problema de la formación de las galaxias (¿cómo pudieron formarse si el Universo primigenio era tan uniforme?) o el problema de la «constancia» de las constantes físicas (al que volveremos cuando toquemos el tema del principio antrópico). Pero también otros problemas, como el de la edad del Universo o el catálogo de objetos celestes con corrimientos al rojo inusuales.[55] Con respecto al problema de la edad del

55 El astrónomo observacional Halton Arp dedicó su vida a recopilar un atlas con objetos que, a pesar de estar a la misma distancia, porque hay puentes de materia entre ellos en las imágenes, presentan corrimientos al rojo muy distintos, por lo que el desplazamiento al rojo podría ser intrínseco y no deberse a una hipotética expansión del Universo (Arp: 1992).

Universo, que venía acompañando a la cosmología Big Bang desde sus inicios y sólo se suavizó a finales de los años 50, todavía durante las décadas de 1980 y 1990 algunos objetos eran más viejos que la edad que el modelo predecía para el Universo a partir de la estimación de la constante de Hubble. A día de hoy, a pesar de la divergencia en la comunidad científica entre valores altos y bajos de la constante, los cosmólogos se inclinan mayoritariamente por los valores altos, pese a que éstos arrojen en principio un Universo demasiado joven, de sólo unos 10.000 millones de años. Porque, al tiempo que recalculan a la baja la edad de ciertos cúmulos globulares para hacerlos encajar con el modelo –aunque algunas galaxias siguen pareciendo más viejas de lo que tolera el Big Bang (Stewart: 2017, 299)–, la interpretación de las observaciones de supernovas lejanas como una aceleración de la expansión les ha permitido razonar que ésta era en el pasado más lenta y que por tanto la edad del Universo ha de ser notablemente mayor que la estimación que ofrece el valor actual de la constante de Hubble.

Lo cierto, no obstante, es que, gracias a la inflación y a la materia y la energía oscuras, el modelo de concordancia de la cosmología Big Bang goza hoy de «buena salud», pues cuadra con la mayoría de observaciones disponibles, aunque al elevado precio de postular un campo esotérico y no saber en qué consiste el 95% del Universo.

Sus críticos apuntan que se trata de un efecto óptico y los objetos bajo estudio se encuentran en realidad muy alejados, puesto que manifiestan desplazamientos al rojo muy distintos (Reeves: 1996, 77 n.p. 9).

Capítulo 21
Problemas filosóficos abiertos

Tras el análisis científico, el análisis filosófico. ¿Qué puede decirse de la cosmología desde las coordenadas de la teoría del cierre categorial? ¿Cómo hay que interpretar los modelos cosmológicos actuales? ¿Como descripciones realistas del Universo, o más bien como instrumentos o ficciones útiles? Podemos anticipar que la cosmología se nos va a aparecer como una ciencia más matemática que física, más observacional que experimental. Como una ciencia que principalmente busca construir una teoría o un modelo que sea consistente, coherente con los datos empíricos accesibles. Este alejamiento de la práctica, de la experimentación, va a determinar que no sea una ciencia en el sentido fuerte de Gustavo Bueno, Ian Hacking o, sin ir más lejos, Percy W. Bridgman, el Premio Nobel de Física (1946) partidario de una filosofía operacionalista de la ciencia, que consideraba la cosmología como una retahíla de arrogantes extrapolaciones de sus colegas, ya que daban por sentado que el Universo funcionaba de acuerdo con una serie de principios matemáticos y que encima los seres humanos habíamos logrado descifrarlos. Con algo más de prudencia, Willem de Sitter apuntaba en 1931 que «no debería olvidarse que todo este discurso sobre el Universo implica una tremenda extrapolación, la cual es una operación muy peligrosa» (Gale: 2005, 163); porque la cosmología proyecta las leyes de la física contrastadas en el entorno terrestre a la totalidad del Universo, presuponiendo que funcionarán básicamente igual en condiciones extremas.

A día de hoy, los astrónomos, astrofísicos y cosmólogos profesionales se escinden, según relata Rodríguez (2005, 125), en tres grupos: los pesimistas (como el astrónomo británico M. J. Disney, que sostiene que muchos descubrimientos han sido inflados groseramente), los entusiastas (como Stephen Hawking, que cree que la cosmología avanza con paso firme hacia el fin de la ciencia y sólo restan algunos pequeños detalles) y los cautos (como Jim Peebles, que, a sabiendas de que la ciencia cosmológica se asienta sobre una base de datos muy pequeña, trata de mantener una visión de conjunto sin perder de vista las interpretaciones alternativas o las observaciones disidentes, como las realizadas por Halton Arp). Pese a que la mayoría de cosmólogos se encuentran satisfechos del grado de precisión a que ha llegado su disciplina (así, por ejemplo, el cuadro que recoge Cepa (2007, 464) le otorga un *cum laude*, un sobresaliente, varios notables, algún aprobado y sólo un suspenso), «el estatus científico de la cosmología constituye un tema tan importante como descuidado» (Rodríguez: 2005, 126), justificando la propia historia de la cosmología Big Bang las críticas.

Para poder comenzar a desbrozar el campo de la cosmología, vamos a levantar una cartografía (tentativa) de su espacio gnoseológico. Interesa señalar que bastantes de las figuras gnoseológicas que recoge el cuadro que presentamos a continuación provienen de la astronomía o de la astrofísica (en la cosmología confluyen la astronomía extragaláctica, la astrofísica estelar, la cosmología observacional y la cosmología teórica, ligada a la teoría de la relatividad general). Prescindir de ellas significaría vaciar de partida el campo de la cosmología (en especial en lo que a referenciales y esencias se refiere; pero también, como veremos, contextos determinantes y teoremas científicos), a riesgo de reducirla expeditivamente a una teoría matemática, al modelo de concordancia ΛCDM. Basta pensar que la ventana al Cosmos está condicionada por el estado del arte en el diseño de instrumentos astronómicos y astrofísicos, y que, en la porción de cielo que escudriñan, aportan ya un número importante de entidades que la cosmología ha de tomar en consideración: desde las galaxias (a día de hoy, los ladrillos del Universo a escala cosmológica) a las supernovas, los cuásares, el gas y el polvo interestelar, los rayos cósmicos… y, por no seguir, entidades con una existencia más o menos hipotética,

como los agujeros negros cuya presencia se estima en el centro de las galaxias, o ese alto porcentaje de la energía y la materia existentes en el Universo que no da indicios directos de su existencia. Sin embargo, el hecho de que el campo cosmológico esté trufado de figuras astronómicas y astrofísicas no impide reconocer la diferencia radical entre las cuestiones que se plantean la astronomía y la astrofísica («¿cuándo y dónde podemos ver Sirio en primavera?» o «¿a qué temperatura está la superficie solar?») y las que se plantea la cosmología («¿está el Universo en expansión acelerada?»).

Cosmología	
Eje sintáctico	
Términos	«números, funciones, tensores, objetos celestes»
Operaciones	«operaciones matemáticas, operaciones quirúrgicas (calibraciones, &c.)»
Relaciones	«fijación de posiciones, medida de constantes, correlaciones, ecuaciones»
Eje semántico	
Referenciales	«puntos de luz, imágenes procesadas, rayas espectrales, signos tipográficos, telescopios ópticos y radiotelescopios, sondas, satélites y telescopios espaciales»
Fenómenos	«observaciones, espectros estelares, radiaciones, reacciones químicas, conjeturas meramente matemáticas»
Esencias	«definición de cuásares o púlsares, clasificaciones estelares, demostraciones estadísticas (ley de Hubble, diagrama H-R), modelos estacionarios o *Big Bang*»
Eje pragmático	
Normas	«leyes lógicas, reglas matemáticas, principios cosmológico y antrópico»
Autologismos	«ideas felices, credo político y religioso»
Dialogismos	«congresos, conferencias, debates, publicaciones»

Tabla 9

21.1 La capa básica de la cosmología

1. La cosmología Big Bang se sustenta sobre cuatro pilares: la relatividad general, la ley de Hubble, la nucleosíntesis y la radiación de

fondo de microondas. La teoría general de la relatividad es el marco en el que se construye el modelo matemático. Un modelo cuya formulación depende explícitamente del principio cosmológico, una de las premisas, ya que permite resolver las ecuaciones de Einstein (a día de hoy, la uniformidad de la distribución observada de las galaxias apoya esta hipótesis de partida). Por su parte, la interpretación más satisfactoria del hecho de que la distancia de las galaxias sea proporcional a su desplazamiento al rojo (ley de Hubble) es que la longitud de onda de la luz que proviene de una galaxia lejana resulta alargada como consecuencia de la expansión del Universo, es decir, de la evolución de la métrica, del factor de escala, en la solución de las ecuaciones de campo de la relatividad general que describe un espacio-tiempo en expansión. A su vez, la nucleosíntesis (una teoría que se testa comparando la abundancia de isótopos que se predice con la que se observa) y la radiación de fondo (detectable con una antena de precisión) se cuentan como evidencias a favor de un Big Bang caliente, ya que no pueden ser explicadas satisfactoriamente sin imaginar la Gran Explosión de un Universo primordial a altísima temperatura.

Ahora bien, los principales hechos cosmológicos observados son, en puridad, la radiación de fondo y el corrimiento al rojo.[56] La nucleosíntesis primordial es, al igual que la relatividad general, una teoría. Y, pese a lo que se afirme con frecuencia, la expansión del Universo no es un hecho, sino una interpretación del corrimiento al rojo. Otro tema es que es coherente en cuanto inferencia a la mejor explicación: «la expansión del Universo se infiere mayormente por eliminación de alternativas [teorías de la luz cansada[57], &c.]; las evidencias directas son pobres, pero la relatividad general es sólida en este sentido» (Cepa: 2007, 464).

56 En su análisis del estatuto científico de la cosmología, Soler Gil (2006, 48-49) advierte que no hay más que una docena de observaciones astrofísicas relevantes para la cosmología y son las que tienen que ver con la oscuridad del cielo nocturno, el cómputo y la distribución de galaxias, el diagrama de magnitud-corrimiento al rojo de galaxias y supernovas, la existencia y las características de la radiación de fondo, el recuento de radiofuentes y la abundancia de helio y deuterio. Una base empírica o un soporte fenoménico más bien modesto (a pesar de que Soler Gil lo juzgue suficiente en comparación con la investigación en gran unificación o gravedad cuántica, mostrando así su compromiso con una idea teoreticista de ciencia).

57 El modelo de la *luz cansada* pone en tela de juicio la interpretación del corrimiento al rojo, uno de los pilares de la cosmología ortodoxa. El corrimiento al rojo no sería consecuencia del alejamiento de la fuente emisora como consecuencia de la expansión del Universo, sino de la pérdida de energía de la radiación electromagnética en su largo viaje por el Universo. El punto más delicado de esta teoría es que no explica la radiación de fondo.

2. Sentado esto, cabe apuntar que uno de los principales problemas gnoseológicos que arrastra la cosmología es la ausencia de referenciales fisicalistas (una vez descontados los que provienen de la astronomía y la astrofísica). La teoría del cierre manifiesta su escepticismo para con aquellas entidades teóricas que no pueden ser manipuladas, con las que no se puede operar, como son las singularidades cósmicas. Una singularidad es una región extremadamente reducida del espacio-tiempo donde las ecuaciones de la relatividad general dejan de ser válidas. Con el trascurso del tiempo, las singularidades han pasado a formar parte del núcleo de la cosmología teórica. No sólo en forma de agujeros negros, sino en especial en cuanto punto de ignición de la Gran Explosión. No obstante, a pesar de que los teoremas matemáticos deducidos por Penrose y Hawking muestren que la existencia de singularidades se desprende del marco matemático de la relatividad general, hay que distinguir con cuidado la física de la matemática, porque el papel lo aguanta casi todo, y porque en rigor no puede asegurarse que existiera una singularidad inicial dado que no se dispone de una teoría de la gravedad cuántica (Cepa: 2007, 269).

Ojo, no se malinterprete: la teoría del cierre no es positivista sino materialista. Los electrones, por ejemplo, no son observables, pero son manipulables. El electrón no es un referencial fisicalista sino una esencia, un término esencial resultante de un teorema bajo el modo de la definición (como repasamos en la Parte I del libro). Pero ello no obsta para que los electrones sean operables por medio de aparatos (las manos no lo pueden todo). Porque podemos lanzar un chorro de electrones contra un blanco, o lanzarlos de uno en uno y ver sus trayectorias en una cámara de niebla, &c. Lo mismo pasa con algunas clases de ondas, como las de radio, que podemos producir y enfocar con control total. Sin embargo, esto no podemos hacerlo con una onda gravitatoria, a la que sólo podemos «observar», ya que su producción depende supuestamente de sucesos cósmicos.

Según esto, como a día de hoy no manejamos construcciones que nos permitan interaccionar con singularidades cósmicas, Gustavo Bueno (1992, 1195) defiende que «la teoría del Big Bang, o la de los agujeros negros, no tiene referenciales materiales, ni aun puede tenerlos, a la manera que los tiene la astronomía clásica». Desde la perspectiva de Ian Hacking (1989, 578), la ciencia interviene el mundo a fin

de comprenderlo; de este modo, «creemos en la realidad de muchas de las entidades que postulan las teorías científicas porque podemos construir dispositivos que usen esas entidades para interferir en otros aspectos de la naturaleza y para investigar la constitución interna de la materia […] pero no podemos hacer eso con los objetos de la astrofísica [y mucho menos con los de la cosmología]». Aunque no sostiene que la realidad se reduzca a la capacidad humana de manipulación, Hacking (1996, 304) concluye que «las entidades teóricas que no terminan siendo manipuladas terminan, por lo general, siendo tremendos errores»; y añade: «debo confesar cierto escepticismo acerca de los agujeros negros». Hacking (2009, cap. IV) subraya que no es sólo que no podamos interferir con los agujeros negros y sólo podamos observarlos, sino que de hecho ni siquiera los observamos: sólo somos espectadores de los estragos que producen. Aunque los cosmólogos creen que debe haber muchos agujeros negros en el Universo, la realidad es que de muy pocos se tienen indicios reales de su existencia (Fernández & Montesinos: 2007, 371).

Ante estas afirmaciones Dudley Shapere (1993, 142 n.p.) protesta señalando que la posibilidad de agujeros negros o, en general, de singularidades, se desprende de la teoría de la relatividad general, que a día de hoy es nuestra mejor teoría sobre el espacio-tiempo y la gravitación. Mientras aceptemos esta teoría son legítimos. Y, sin embargo, a pesar de esta gota de teoreticismo, Hacking (1989, 559) concluye tajantemente: «la experimentación galáctica es ciencia-ficción y la experimentación extra-galáctica es una broma de mal gusto». Dentro de este contexto, la crítica de Dudley Shapere (1993, 147) a Hacking acerca de que la noción de manipulación es tremendamente ambigua resulta extensible a Bueno y, de hecho, Bueno (1982, 167-170) ya la tuvo en cuenta. Rivadulla (2015, 125) reseña que Putnam, desde su teoreticismo, incide en esta penetrante crítica, subrayando que Hacking no puede distinguir netamente entre teoría y hecho y, por tanto, no puede ser realista con respecto a los hechos (el rociado de positrones) y antirrealista con respecto a las teorías (la teoría del positrón, que nos instruye acerca de cómo usarlo). Lo que sucede es que Putnam, pese a poner de relieve la compenetración de materia y forma, anega todo en la forma, en la teoría, sin darse cuenta de la necesidad de cortar con esta distinción, como de facto hace Hacking.

Para Hacking, el argumento experimental es el argumento más fuerte a favor del realismo científico, aunque no por ello es concluyente, pues en ocasiones puede fallar.[58]

Con posterioridad, Hacking (2009, cap. IV) ha matizado su posición señalando que su cautela para con aquellas entidades que no pueden ser manipuladas, como las lentes gravitacionales, es susceptible de revisión, porque el avance de la técnica y la tecnología puede permitir que en cierto momento seamos capaces de interferir con ellas. Así, las lentes gravitacionales, que son una consecuencia de la teoría de la relatividad general, fueron detectadas por vez primera en 1986, a pesar de que Einstein pensaba que nunca seríamos capaces de observar este fenómeno. Su estudio permite conocer el Universo lejano, aunque para Hacking está afirmación suena exagerada y tiene más fin propagandístico o recaudatorio de fondos que de animar a conocer el Universo distante. Pero no podemos interferir con ellas, focalizándolas (compárese con el uso que se hace de los rayos cósmicos desde los años 30 para descubrir nuevas partículas subatómicas). No obstante, a día de hoy parece que están comenzando a usarse para estudiar la materia oscura, con lo que habría que revisar el antirrealismo que Hacking (1989) defendía respecto de ellas. Nada es definitivo, aunque tenemos mejores razones para afirmar la existencia de los electrones que de las lentes gravitacionales, y de las lentes gravitacionales que de las singularidades cósmicas.

3. El siguiente problema gnoseológico es, a saber, que la cosmología no es una ciencia de laboratorio y, si se nos apura, ni siquiera una ciencia observacional. En cosmología no caben los experimentos (salvo que uno considere ingenuamente como experimentos las

58 Hacking (2009, cap. IV) se queja de que ha sido habitualmente malinterpretado. Así, el filósofo canadiense se refiere a la interpretación que de él hace Suárez (2008), porque tiene la virtud de condensar en una misma frase dos lecturas erróneas de su idea. Para Suárez, la manipulación es una condición suficiente para la realidad de una entidad teórica *x*. Y Hacking apunta que él nunca habló de condición suficiente ni de manipular sin propósito, sin fines específicos (como interferir en otras partes de la naturaleza). Además, Suárez reformula su argumento en términos epistemológicos, de creencia, cuando Hacking –según afirma– nunca ha rehuido el debate ontológico. De hecho, Iranzo (2000) introdujo con anterioridad una distinción similar a la de Suárez (2008) según se empleara el argumento de la manipulabilidad para apoyar un realismo óntico (o no comprometido necesariamente con la verdad de las teorías, cuyo principal valedor sería Hacking) o un realismo alético (comprometido con la verdad científica, uno de cuyos valedores sería Rom Harré, con su autodenominado realismo «profundo», en donde también entraría Bueno).

simulaciones al ordenador), ya que no podemos perturbar estrellas o galaxias lejanas para ver si responden de acuerdo con los modelos (como se hace en la física de partículas), ni tampoco caben las observaciones estadísticas (como en astronomía o astrofísica, donde se observan muestras grandes de astros), ya que no conocemos más que un Universo al que mirar (Uni-verso). Sólo los cosmólogos partidarios del Multiverso creen (en su mente) que trabajan con una multiplicidad de Universos. En suma, el Universo no es un objeto susceptible de experimentación física ni puede ser comparado observacionalmente con otros Universos.

Este problema está relacionado, como es obvio, con el anterior, con la ausencia de referenciales fisicalistas, pero también con el papel de los aparatos en cosmología. Si los aparatos e instrumentos son el camino a las verdades científicas (los contextos determinantes de las identidades sintéticas, ya que las técnicas conforman las ciencias), y no sólo un desbroce de los fenómenos como quieren los positivistas y los popperianos, resulta complicado señalar cuáles puedan ser los contextos determinantes de la cosmología. Las tecnologías aportan pocos contextos determinantes –aparte de los telescopios en sus diferentes variantes (fotometría óptica e infrarroja, radiotelescopía y telescopios espaciales de altas energías) tomados prestados de la astronomía y la astrofísica– a la cosmología. Por una razón estricta. Aunque los objetos de la astronomía no son manipulables en un sentido trivial (manual), los rayos de luz emitidos por los astros son proyectados –por medio de los telescopios o de la simple vista, en el caso de los planetas– sobre un plano y las trayectorias fenoménicas resultantes se intentan resolver mediante la inserción de cónicas geométricas (las órbitas de los planetas no están en el espacio sino en la proyección en el papel, ahí es donde se visualizan). Del mismo modo, los objetos de la astrofísica tampoco son manipulables, pero la luz emitida por las estrellas se proyecta –a través de un espectroscopio y sus derivados– sobre una placa dando lugar a un espectro continuo sobre el que se sobreimprimen una serie de líneas verticales que son la huella de los elementos químicos que componen la estrella. Ahora bien, ¿qué se está proyectando en el caso de la cosmología, cuando esta ciencia se define por tener como objeto el Universo, el Todo? El Cosmos, el Todo, no cabe ni puede caber en la placa o en el papel, en la parte, porque no puede pasar a través

del objetivo, por muy grande que sea su diámetro (como un camello no puede pasar, salvo milagro, por el ojo de una aguja). A diferencia de la cosmología, la astronomía y la astrofísica no se ocupan del Todo sino que acotan por principio su campo, limitándose a una categoría cerrada conformada históricamente por planetas, estrellas, galaxias, &c. Esto determina que las franjas de verdad más anchas del espacio gnoseológico de la cosmología correspondan a los contenidos más próximos a la astrofísica (ley de Hubble, diagrama H-R, cota inferior de la edad del Universo atendiendo a sus constituyentes, &c.) que a los contenidos propiamente cosmológico-matemáticos.

A la luz del criterio de los aparatos que expusimos en la Parte I, la franja de verdad de las ciencias teóricas y observacionales es mucho más estrecha que la de las ciencias experimentales o de laboratorio. A causa de esto, la franja de verdad de la teoría del Big Bang o de la teoría de cuerdas es extremadamente más delgada de lo que a priori se antoja (Bueno: 1992, 1195; Hacking: 1989, 578). Al carecer de aparatos adecuados que permitan las construcciones por medio de las cuales los físicos adquieren conocimiento (a día de hoy, es imposible liberar la energía que sería necesaria para dar soporte experimental significativo a las cuerdas o las membranas, así como interferir con el origen del universo u otras singularidades cósmicas), estas teorías matemáticas son tentativas, voluntaristas. Como quedó dicho, algunos físicos ya han reparado en el callejón sin salida de la teoría de cuerdas: para Smolin (2007), Penrose (2006) o Ynduráin (2007) es física-ficción, llena de fantasías especulativas; pero no han reparado tanto en lo que de análogo tiene la teoría del Big Bang (especialmente cuando entronca con la cosmología inflacionaria o con la cosmología cuántica).

El objeto de la cosmología no puede ser, por tanto, el Universo como un Todo globalizado, atributivo. De hecho, ese Todo, ese Universo al completo, tampoco es el objeto de ese oxímoron que es la «Teoría del Todo». La pluralidad infinita es intratable, salvo metafísicamente, como unidad. A lo sumo, la cosmología estará abordando un recinto limitado suyo, acaso cómo es el tablero (el espacio-tiempo) mas no cómo se mueven las piezas, si se nos permite la comparación con el ajedrez. Aceptando la doctrina del cuerpo de la ciencia de la teoría del cierre categorial, lo que hay que discernir es cuáles

son esas partes de la realidad, del *mundus adspectabilis*, que se traga la cosmología. Si la astronomía clásica se apropiaba de las órbitas de los planetas y cometas, en tanto en cuanto se transformaban en curvas elípticas sobre el papel, podría decirse que la cosmología, en continuidad con la astrofísica, se adueña de ciertas partes del cielo, de su luz y radiación, filtrada a través de telescopios diversos. E intenta –acaso como desiderátum– reconstruir matemáticamente sobre el papel su marcha, su evolución. Según esto, el campo de la cosmología no sería el Universo como un Todo, sino algo mucho más modesto y atenuado: el Universo observable, la física a las mayores escalas accesibles al ser humano (este Universo observable vendría acotado por un horizonte técnico, determinado por la capacidad de penetración del instrumental, que cae por debajo del horizonte que delimita la velocidad de la luz y que supuestamente deja más allá muchas galaxias en principio inobservables, o que sólo lo serían bajo la premisa de que la expansión decelerase). De hecho, resultados matemáticos como los recientes teoremas demostrados por John Manchak en 2009 y 2011 frenan bastante las ambiciones de la cosmología al probar que, dado cualquier espacio-tiempo que satisfaga ciertas condiciones de regularidad muy generales, existe otro espacio-tiempo observacionalmente indistinguible del primero pero con una estructura global muy diferente (Butterfield: 2014; Soler Gil: 2016, 53-54).

El contratiempo filosófico más grave a que se enfrenta la cosmología es que elabora un modelo y un discurso, un relato, que, aparte de ser presa fácil de ideas míticas (como abundaremos más abajo), cae en un círculo vicioso, en el «dialelo cosmológico». De igual manera que un jaguar se reduce (lisológicamente) a los quarks que lo componen, sin posibilidad de reconstruir posteriormente la morfología de sus colmillos a partir de los quarks, desde todo el Universo conocido se regresa a un punto originario, pero cómo progresar desde ese punto originario de ignición al Universo conocido queda oscuro y confuso. Desde la sopa cósmica primordial se explicará cómo se formaron los primeros quarks, los primeros núcleos e incluso los primeros átomos, pero explicar finamente cómo se formaron las estrellas, las galaxias y los cúmulos galácticos, hasta llegar a la Tierra, la vida y la especie humana, permanece envuelto en un halo de misterio, a no ser que se presuponga por principio la existencia de esas morfologías cuyo origen

se quiere explicar. Llegamos a X, pasando por O, porque hemos partido de X, porque se sabía adónde quería regresarse. Pero la cadena de causas y/o razones que conduce de O a X no es conexa. Faltan eslabones. Y la existencia de un hiato, de una desconexión, perfectamente justifica la posibilidad de que O condujera a Y o Z en lugar de a X. Además, como aduce Bueno (1998), resulta impropio aplicar la idea de Evolución, partiendo de que la referencia propia –científica, categorial– son los vivientes orgánicos, al Cosmos, organizándolo en una suerte de *Scala Naturae* o fases que van desde los tramos inorgánicos inferiores a los tramos orgánicos superiores, culminando en nivel de complejidad con el Hombre (la soldadura con la idea decimonónica de Progreso es manifiesta). Este antropomorfismo tiende a confundir la prioridad temporal de una serie de átomos o moléculas sobre las morfologías del presente (las estrellas, los planetas, &c.) con la prioridad ontológica, porque esas morfologías (las estrellas o los planetas que identificamos en el firmamento) son «estromas» de nuestro *mundus adspectabilis* y su reducción a átomos o moléculas sólo se produce cuando intervienen la astrofísica y la química armadas con ciertas técnicas y tecnologías.

Terminamos el repaso de los problemas que afectan a la capa básica de la cosmología indicando que la crítica que acabamos de realizar a la cosmología de raigambre einsteiniana es pareja, *mutatis mutandis*, a la que el físico y filósofo Ernst Mach realizó a la cosmología newtoniana a caballo entre los siglos XIX y XX. En efecto, como relata Ongay (2016, 44), la célebre crítica de Mach a Newton, que tanta importancia alcanzaría en el desarrollo de la teoría de la relatividad por ejemplo, no estaba movilizada tanto por una suerte de querencia empirista o positivista abstracta, cuanto por la evidencia de que el tratamiento newtoniano del espacio y el tiempo absolutos (y aquí Newton razonaba como un teólogo escolástico, según Mach) necesariamente desbordaba cualquier sistema mecánico –inexcusablemente artificial–concreto, al que la ciencia de la mecánica pudiera ajustarse constructivamente. Con otras palabras: las ideas de un espacio y un tiempo absolutos sobrepasaban cualquier planteamiento y experiencia mecánica, porque la mecánica era la ciencia de los sistemas artificiales, de las máquinas, de manera que las leyes de la mecánica eran las leyes de esos contextos determinantes y no del Universo en

general (una tesis que, según el análisis de Ongay, Mach aceptó más en ejercicio que en representación, donde se deslizó hacia el monismo). Análogamente, la cosmología actual especula sobre el Universo como un todo; pero, pese al aprecio de que goza entre el público científico, obvia con ello que, por ejemplo, el principio de conservación de la materia fue formulado por Lavoisier no para aplicarlo al Cosmos, sino para reacciones químicas particulares. Es así que el Universo, como concluye Ongay (2016, 44), en tanto que *omnitudo realitatis* de ningún modo es un sistema mecánico (esto es: justamente una máquina) ni puede en absoluto decirse que la mecánica, sea la newtoniana, sea a su vez la relativista o la cuántica, es la ciencia del Universo (*cosmo-logía*).

21.2 La capa metodológica de la cosmología

1. En la consolidación de la cosmología Big Bang entran en juego factores metodológicos y sociológicos. Comencemos desentrañando los primeros, relacionados con el influjo de la filosofía teoreticista de la ciencia durante los años de formación de la cosmología. Así lo acreditan los debates metodológicos entre E. Milne, A. Eddington y H. Dingle en los años 30 a propósito de la alternativa entre el método hipotético-deductivo o el método inductivo en cosmología. Dingle llegó a hablar de una «cosmomitología» elevada al rango de ciencia física (Kragh: 2007, 6). Pero también lo hace patente el debate sostenido por H. Bondi y G. Whitrow sobre el estatus científico de la cosmología en 1954, donde Bondi introdujo a Popper y su falsacionismo como escudo contra el ataque de Whitrow (Gale: 2015). El teoreticismo popperiano ha sido desde entonces un lugar común en la filosofía espontánea de los cosmólogos, ya que el epistemólogo vienés decía apoyarse en Einstein y su metodología. Probablemente, Popper sea el filósofo de la ciencia más citado entre ellos, seguido muy de cerca por Thomas Kuhn. Stephen Hawking, por ejemplo, hace uso de él en su célebre *Historia del tiempo* (1990, 29; 2002, 31), a pesar de que Popper en los 90 expresase en cartas privadas que la cosmología no le parecía una ciencia por cuanto requiere de un número intolerable de hipótesis auxiliares (y porque es muy difícil que el principio de

falsabilidad funcione como garantía de aceptabilidad científica dado que las observaciones significativas son muy infrecuentes en cosmología) (Kragh: 2012, §5).[59]

Según esclarecimos en la Parte I, la concepción teoreticista de la ciencia identifica la ciencia con la teoría y, en particular, la cosmología con la formulación de un modelo matemático que no esté refutado por las observaciones. De acuerdo con esto, la principal virtud del modelo ΛCDM consiste en ser un modelo de concordancia, un cóctel donde la materia oscura fría y la constante cosmológica se mezclan intentando que todas las piezas del puzle encajen a la vez. Los partidarios de la teoría del Big Bang suelen aducir que sólo este modelo cosmológico ajusta con precisión la mayoría de observaciones accesibles. Lo que es cierto, aunque, por ejemplo, para Rodríguez (2005, 112), la cosmología Big Bang aún no aclara convincentemente el origen ni el destino del Universo, pese a albergar en su seno la mayoría de observaciones disponibles.

Sin embargo, cabe preguntarse si el método hipotético-deductivo-predictivo que Popper recomendó –anclado en un rancio fetichismo del método– para todas las ciencias se compagina tan bien como parece con la cosmología. Primeramente, porque el modelo ΛCDM, más que realizar predicciones novedosas que vayan siendo confirmadas, funciona al revés: las observaciones accesibles van interpretándose en ese marco, ajustándose dentro del modelo. La observación participa en cosmología de un modo más parecido al que lo hace en la geología que en el resto de la física: en la forma de una prueba de evidencia adicional, donde el hallazgo de una evidencia nueva sólo confirma o refuta parcialmente la explicación conjeturada. Por otra parte, como es bien sabido, Popper resolvió el problema de la demarcación apelando a la falsabilidad como criterio de cientificidad. Pero no es sólo que la cosmología actual esté en extremo infradeterminada empíricamente o que los *experimentum crucis* parezcan inviables. (Entre otras razones, porque no hay cosmologías alternativas[60] capaces de hacerle

59 Es más, en una nota publicada en *Nature* en 1940, Popper se decantaba por una interpretación convencionalista del corrimiento al rojo: tanto la teoría de la expansión como la teoría de la luz cansada describían el mismo hecho en lenguajes alternativos, no teniendo demasiado sentido preguntar si es el espacio el que se expande o es la luz la que se cansa.

60 Las cosmologías alternativas o exóticas, como las cíclicas que evitan la singularidad inicial, o la teoría renovada del estado cuasi-estacionario, muestran problemas para encajar

sombra a la cosmología Big Bang, como en su día lo hiciera la cosmología del estado estacionario: lo que tal vez sea consecuencia más del efecto *bola de nieve*, de la dinámica de la comunidad científica, donde el paradigma dominante monopoliza los recursos[61], que de la verdad intrínseca adjudicable al modelo.) Es, en especial, que la cosmología se aproxima al proceder de otras ciencias, como la teoría de la evolución de Darwin, que Popper nunca dejó de mirar con sospecha (a su entender, no se trataba de una teoría científica sino de una teoría metafísica, al no ser testable).

Y, sin embargo, a la manera que la teoría de la evolución es contemplada por algunos filósofos de la ciencia como una gigantesca abducción, en el sentido de Peirce, que lo que busca es ofrecer una explicación plausible de una enorme cantidad de datos, de abundante evidencia biológica y fósil[62], podría comprenderse generosamente la cosmología Big Bang como otra gigantesca abducción que persigue explicar ciertas evidencias astronómicas y astrofísicas. Pero el precio que se paga por abrazar la concepción teoreticista de la verdad como coherencia, por resumir la lógica de la investigación científica en el *modus tollens*, es que se corre el riesgo de desconectar la verdad científica de la realidad, creyendo que ésta obedece las leyes del modelo a pie juntillas y saltándose a la torera la experimentación en favor de la elucubración. Así, una muestra de que la física teórica vive momentos de apuro es que bastantes cosmólogos han encumbrado la consistencia matemática a criterio último de verdad, soslayando que «el hecho de que una teoría física inspire adelantos en las matemáticas no puede

todas las observaciones disponibles, pero quizá este escollo sea producto de que no han sido suficientemente desarrolladas por el momento (López-Corredoira: 2014 y 2017). De hecho, Stewart (2017, 301) señala que el punto de vista público según el cual la cuestión del origen del Universo ha sido solucionada de una vez por todas ignora la variedad de cosmologías alternativas y que «el Big Bang tampoco parece muy sólido», dado que se basa en arreglar las predicciones a posteriori.

61 Sirva como ejemplo que las observaciones discordantes le costaron caras a Halton Arp: primero le advirtieron de que si no cambiaba la dirección de su investigación, vería reducida su asignación de tiempo en Monte Palomar y, varios años más tarde, le denegaron todo el tiempo que había pedido (Arp: 1992).

62 Dejamos aquí de lado la reconstrucción que de la teoría de la evolución ofrece la teoría del cierre categorial al entroncar la biología evolutiva con las técnicas de domesticación y selección artificial, que funcionan como primer analogado de la selección natural (aunque ésta sin demiurgo selector), así como la comprensión de su cierre como la síntesis de una multiplicidad de cursos, entre los que destacan la selección darwiniana y la genética mendeliana por medio de la estadística de poblaciones (Alvargonzález: 1996; Madrid Casado: 2015).

ser utilizado como argumento de la veracidad de la teoría como teoría física» (Smolin: 2007, 278). Estos cosmólogos han renunciado a la testabilidad física en pos de la mera coherencia matemática, ya que los experimentos que pondrían a prueba sus teorías sobre el principio antrópico o el Multiverso son imposibles. Hemos entrado en la era de la «física posmoderna», en que la experimentación deja de ser necesaria y es suficiente con las matemáticas (Smolin: 2007, 174). No deja de ser curioso que uno de los físicos que más ha contribuido a fomentar las especulaciones en torno a la cosmología inflacionaria y la cosmología cuántica dé una explicación sociológica de esta moda de éxito fulgurante: Vilenkin (2009, 98-99) cuenta que la física de partículas se estancó a mediados de los años 80, porque las nuevas teorías implicaban energías elevadísimas, imposibles de desencadenar en el laboratorio, de manera que los especialistas comenzaron a convertirse en masa a la cosmología, por cuanto el Big Bang es, al parecer, el único acelerador de partículas capaz de imprimir energías tan altas. Esta explicación se ve apoyada por los análisis bibliométricos, que muestran cómo a partir de los años 80 se disparó el número de artículos sobre cosmología, así como el número de cosmólogos oficiales, pasando de una centena a más de mil tras la invasión de los físicos teóricos, primando los de nacionalidad norteamericana (Sanromá en Arana & *al.*: 2012, 123).

Una ilustración de esto que estamos mencionando nos la proporciona el «escándalo Bogdanov». En 2002, los hermanos gemelos franceses Igor y Grichka Bogdanov publicaron una serie de artículos sobre física teórica en varias revistas especializadas que esbozan una teoría topológica del espacio-tiempo en la escala de Planck que describiría lo ocurrido antes del Big Bang, y que según algunos expertos no serían más que una broma, sinsentidos contrachapados de matemática. Otra ilustración, menos polémica y más aceptada, nos la ofrece el trabajo del acreditado cosmólogo Max Tegmark (2003), para el que el Universo es en sí mismo una estructura matemática, y esta suerte de neo-pitagorismo o neo-platonismo le ha encaminado a formular otra «Teoría del Todo». Finalmente, Vilenkin (2009, 264-265) asevera que «la nueva cosmología no pretende convertirse en una ciencia empírica; es probable que la disputa entre hipótesis se resuelva mediante consideraciones teóricas, no con datos observacionales». Y Leonard Susskind,

fundador de la teoría de cuerdas y partidario de los Universos múltiples, asevera que «sería de tontos descartar la respuesta correcta sólo porque no cumple el rígido criterio de falsabilidad de los filósofos» (Susskind: 2007, 225 y 228; Kragh: 2014, §6). Entonces, ¿es ciencia también el Diseño Inteligente?

2. Por el abandono del *verum est factum* por la consistencia matemática como criterio último de verdad científica, Gustavo Bueno e Ian Hacking se muestran críticos con la cientificidad que cabe atribuir a la cosmología. Luchan contra la tiranía del teoreticismo y del método hipotético-deductivo-predictivo en física, por cuanto deforma el significado gnoseológico de las ciencias. En efecto, basta constatar cómo Hacking (1996, 187-189) y Bueno (1992, 249-251) realizan idéntica lectura del episodio de la radiación de fondo. Ambos filósofos indican que, cuando los radioastrónomos Penzias y Wilson estudiaron con su radiotelescopio el *zumbido* proveniente del centro de la Vía Láctea, se decidieron a interpretar la radiación de fondo –los 3 K de temperatura uniforme– como la energía residual de la explosión primigenia porque, precisamente por esa fecha, un grupo de teóricos de Princeton había hecho circular un manuscrito que sugería que el Universo se había originado en una gran explosión (Big Bang). En palabras de Bueno (1992, 250): «No puede decirse, por ejemplo, que la teoría haya *predicho* la radiación de fondo y que Penzias y Wilson hubieran *verificado* en 1964 tal predicción [...] Penzias y Wilson observaron una radiación uniforme que fue interpretada en el contexto de la teoría del Big Bang, cuando ésta estaba, a la sazón, en ascenso; pero que podía haber sido interpretada también en el contexto de otras teorías». A su vez, Hacking (1996, 188), tras mostrar con ejemplos entresacados de libros de texto de física cómo se distorsiona el curso de los hechos, apunta: «No quiero implicar que un historiador competente de la ciencia pueda llegar a deformar a tal grado la historia, sino más bien hacer ver el empuje constante de la historia popular y el folklore». Así, por ejemplo, Reeves (1996, 115) escribe sin sonrojo: «Predicción en 1948; detección en 1965… He aquí un bello ejemplo de predicciones acertadas, elaboradas sobre un conjunto de observaciones y teorías. Dan toda su fuerza al proceder científico». Y, sin embargo, nada más lejos de la realidad.

Ciertamente, el diagnóstico que Bueno y Hacking proyectan de la enaltecida cosmología puede chirriar en oídos de educación popperiana.

La cosmología se torna como un cuerpo afectado de cáncer y, moviéndose entre los que optan por no ver la enfermedad y los que optan por aplicar radicales medidas eutanásicas, los dos filósofos que nos ocupan proponen la cuidadosa extirpación de los tejidos cancerosos, que más que pertenecer a su núcleo –donde yacen la teoría de la relatividad y leyes como la de Hubble– pertenecen a su hipostasiada corteza –muchas especulaciones cosmológicas, sobre el origen del Big Bang o el interior de los agujeros negros, no son más que metafísica disfrazada de matemática, refluencias que podrían parangonarse a las discusiones sobre si el espacio newtoniano era el sensorio divino–. Para Hacking (1989, 578), la cosmología es un dominio «en el que no podemos ser más que lo que Van Fraassen llama empiristas constructivos». Las técnicas y las tecnologías en astronomía y astrofísica han cambiado radicalmente desde la Antigüedad, pero el método en cosmología ha permanecido prácticamente inalterado: observar los cuerpos celestes y construir modelos del macrocosmos. En contraste, el método de la física experimentó una profunda transformación durante la Revolución Científica: de salvar los fenómenos se pasó a crearlos. Pero en cosmología no podemos crear fenómenos, sólo salvarlos. A causa de esto, Hacking se declara antirrealista con respecto a gran parte de la astrofísica y la cosmología (Hacking: 1989, 577).

Desde la perspectiva de Bueno, cuando miramos la realidad bajo el farol de la ciencia, más que penetrar en el fondo de ella (como si estuviera escrita en caracteres matemáticos), estamos aprehendiendo el funcionamiento real de las cosas bajo nuestras construcciones. Este enfoque implica que lo que llamamos ciencia, globalmente, hay que restringirlo o puntualizarlo mucho. Ciertos desarrollos cosmológicos no son ciencia propiamente y no pueden ponerse al mismo plano que la mecánica o la geometría. Aunque cabe una física ficción, no cabe una matemática ficción. Porque la matemática es la ciencia más cerrada, seguramente porque elimina el tiempo, aunque no el movimiento. En cambio, la física, como las demás ciencias, incluye el tiempo y con él las transformaciones, con lo que el círculo de cierre es más restringido. Pero cuando cierra, y lo hace, es porque funciona de la mano de la técnica. Es la técnica, ligada a los aparatos, lo que media entre el formalismo matemático y la realidad, aunque a la larga su papel se vuelva transparente y se olvide el rol desempeñado. Cuando los

físicos teóricos o los cosmólogos rebasan con sus especulaciones el ámbito de lo operable técnicamente, la ciencia resultante se convierte en problemática, hipotética. «En el momento en el cual el complejo institucional constituido por una ciencia pierde su involucración con la verdad –concebida como identidad sintética–, ese complejo ya no podrá ser llamado ciencia, salvo por su armazón aparente» (Bueno: 2005, 52). Se replicará que si el materialismo filosófico critica la cosmología, peor para el materialismo filosófico y su idea de ciencia. Pero quien esto repita no estará en el fondo sino manifestando que su idea de ciencia es otra (y no hay tantas: las cuatro familias que clasificamos en la Parte I), esto es, que está preso de una idea adecuacionista o simplemente teoreticista de la ciencia.

3. Abordamos, por último, los factores sociológicos que intervienen en la constitución del consenso en torno a la cosmología Big Bang. Estos factores tocan la política y la religión. Los primeros están relacionados con la Guerra Fría. En su autobiografía, Gamow refiere que la popularidad de la teoría del estado estacionario en la década de 1950 entre los físicos ingleses tenía que ver, a juicio de Edward Teller, con la política del Reino Unido de mantener el *status quo* en Europa. Nadie que no fuera británico trabajó nunca a fondo en la teoría del estado estacionario, que tenía su centro en una comunidad de astrónomos de formación relativista. Por su parte, la teoría del Big Bang hizo fortuna y arraigó en EE.UU., porque la física nuclear tenía –gracias a la bomba atómica– mucho peso, de manera que la fascinación por la explosión atómica influyó en la aceptación de la teoría de la Gran Explosión. Esta teoría gravitaba en torno a una comunidad de físicos nucleares de nacionalidad norteamericana.

Los segundos factores están relacionados con la bondad con que las religiones del Libro podían ver la cosmología Big Bang elaborada principalmente por los cosmólogos norteamericanos frente a otras cosmologías alternativas, como las manejadas por sus homólogos soviéticos, partidarios del ateísmo científico. Es así que el abad Lemaître, padre de la teoría del Big Bang, comenzó a darle forma en el artículo «El comienzo del mundo desde el punto de vista de la teoría cuántica» publicado en *Nature* en 1931 y que él mismo definió como «una pieza visionaria de cosmo-poesía pensada más para abrir los ojos a los lectores que para convencerlos» (Luminet: 2011). Aparte

de un físico distinguido, Lemaître era un sacerdote católico, que secretamente podía ver con buenos ojos la reconciliación de la cosmología relativista con el dogma cristiano de la Creación.[63] De hecho, el manuscrito original mecanografiado del artículo, que se conserva en el archivo de la Universidad de Lovaina, finaliza con este párrafo que Lemaître terminó tachando y en el que expresaba su fe en el *Deus absconditus* de resonancias bíblicas y divisa de Nicolás de Cusa: «Creo que todo el que cree en un Ser Supremo que soporta cada ser y cada actuación, también cree que Dios está esencialmente oculto y puede ver con alegría cómo la física actual proporciona un velo que oculta la Creación» (Luminet: 2011).

Aunque Lemaître siempre se cuidó de distinguir la ciencia de la religión, su teoría esbozada en 1931 es, *salva veritate*, un relato cosmogónico en toda regla: «El mundo-átomo se rompió en fragmentos, cada fragmento en piezas todavía más pequeñas […] la evolución del mundo podría compararse a unos fuegos artificiales que acabaran de finalizar: unos cuantos fuegos fatuos rojos, cenizas y humo. Frente a una brasa ya fría, observamos el lento declinar de los soles y tratamos de rememorar el fulgor desvanecido del origen de los mundos» (el artículo «El Universo en expansión» de Lemaître citado por Gamow: 1963, 81). No es de extrañar que esta narración cosmogónica fuera acogida con satisfacción por Pío XII ante la Academia Pontificia de Ciencias en 1951, por cuanto encajaba con el Génesis: «La ciencia moderna ha conseguido, remontándose genialmente a través de millones de siglos, ser de algún modo testigo de ese *Fiat lux* del instante inicial […] nos ha provisto de la prueba del principio del tiempo… por lo que la Creación tuvo lugar. Por lo tanto tiene que haber un Creador; por tanto, Dios existe» (Stenico: 2013, 510). No obstante, aunque muchos físicos celebraron la bendición de la cosmología impartida por el Santo Padre, Lemaître, que se encontraba presente en el acto, no logró disimular su disgusto: las palabras del Papa sobre la teoría del Big Bang daban la razón a Fred Hoyle, quien solía afirmar que tanto la inspiración de esta teoría como la aversión a la teoría rival del estado estacionario tenían raíces religiosas… «¿qué clase de

63 Para Alexander Friedmann, ferviente católico ortodoxo, la teoría de la relatividad sugería la creación del mundo por Dios.

teoría científica es esa que fue concebida por un cura y aprobada por el Papa?» (Stenico: 2013, 74 y 517). Curiosamente, la distinción que establecía Lemaître entre el origen del Universo (el Big Bang de los científicos) y la Creación (una etapa previa envuelta en el misterio) sería en cierto modo recogida por Juan Pablo II al exhortar a no confundir ambos momentos a los cosmólogos reunidos durante una semana de encuentro en el Vaticano en 1981 (entre los que se contaban Steven Weinberg, Peebles, Rees, Sandage y un Stephen Hawking que ya soñaba con un Universo autocontenido, con un origen en el tiempo pero sin Creador).


L'OSSERVATORE ROMANO

GIORNALE QUOTIDIANO POLITICO RELIGIOSO

IL SANTO PADRE AD UNA SOLENNE ADUNANZA DELLA PONTIFICIA ACCADEMIA DELLE SCIENZE

Le prove della esistenza di Dio alla luce della scienza naturale moderna

Figura 11: *Primera página de «L'Osservatore Romano» del 23 de Noviembre de 1951, donde se daba noticia de la intervención el día anterior del Papa ante la Academia Pontificia de Ciencias para disertar sobre la prueba de la existencia de Dios a la luz de la ciencia natural moderna*

En 1952, Gamow escribió un best-seller titulado *La creación del Universo*, del que le enviaría –a pesar de ser ateo– una copia al Papa (Kragh: 1996, 117). Este popular libro se abría con la imagen de los

primeros compases de la partitura de la gigantesca cantata de *La Creación* de Haydn (1796), que como la teoría del Big Bang ofrece un fortísimo acorde en forma de Gran Explosión en el momento en que el coro del principio canta el *Fiat lux*. Una referencia bíblica luminosa que Gamow (1963, 68) retomaba cuando relataba que en el Universo primitivo la radiación primaba sobre la materia. Es más, Gamow (1963, 19) arremetía contra la teoría del estado estacionario aduciendo que uno de los defensores, el astrónomo soviético Vorontzoff-Velyaminov, la aceptaba forzado por la filosofía del materialismo dialéctico.[64] También Gamow (1963, 52) se planteaba, como sostenían algunos cosmólogos soviéticos, si el estado primitivo de nuestro Universo podía haber sido el resultado de la compresión de un estado anterior y la expansión presente una suerte de rebote de aquella Gran Compresión (de un Big Crunch previo, dentro de un Universo cíclico); pero como ese estado uniforme y extremadamente denso habría borrado todo rastro de una era anterior, el físico nacionalizado estadounidense concluía que sobre el Universo anterior al Big Bang nada se podía decir y denominaba a esa era como la era de San Agustín, puesto que fue San Agustín el que primero suscitó la cuestión de lo que hacía Dios antes de crear cielo y tierra.

El relato que Gamow ofrecía como colofón de *La creación del Universo* está, al igual que el de Lemaître, preso de la idea teológica de una *Scala Naturae*, de que la Naturaleza se despliega en una serie de escalones o peldaños sucesivos de complejidad que culminan en el ser humano, el rey de la Creación: tras una metafísica era de San Agustín, el «hylem primordial» comenzó a expandirse y enfriarse. Las partículas elementales empezaron a unirse unas a otras, constituyendo agrupaciones de diferentes complejidades. El gas con los átomos recién

64 No obstante, como Fred Hoyle tuvo ocasión de experimentar durante su visita a la U.R.S.S. en 1958, la teoría del estado estacionario tampoco era aceptada unánimemente por las autoridades soviéticas, ya que en general se contemplaba con sospecha la aplicación de teorías físicas a todo el Universo, como una extrapolación anticientífica de leyes locales, de manera que en la cosmología se veía una ciencia burguesa, un «tumor canceroso» que corroía la ciencia proletaria (Kragh: 1996, 260-262). De hecho, el Diccionario Soviético de Filosofía (www.filosofia.org/enc/ros/index.htm) prefería emplear, en lugar de «Universo», «Metagalaxia» («mayor sistema material de los accesibles a los medios de observación modernos»), un término acuñado por Shapley en 1934 (Kragh: 2015, 18). Es aquello que comentaba Boris Hessen: «La teoría de la relatividad no puede ser responsable de ningún modo de aquellos comentarios místicos, idealistas y metafísicos, en el mal sentido de la palabra, que gustan de hacer al respecto filósofos ociosos y naturalistas dedicados a filosofar» (Huerga: 1999).

formados prosiguió la expansión, fraccionándose en nubes, las protogalaxias, donde a su vez comenzaron a condensarse protoestrellas, que terminaron encendiéndose gracias a la contracción gravitatoria. Finalmente, el material gaseoso alrededor de las estrellas dio origen a los sistemas planetarios, como el Sistema Solar. Y la Tierra, al enfriarse, desarrolló una sólida corteza nuclear, donde con el tiempo aparecieron materias orgánicas que darían lugar a las plantas, los animales, «al principio primitivos y cada vez más y más complicados, evolucionando finalmente al ser humano, que tiene la suficiente inteligencia para preguntar y responder sobre problemas que se relacionan con hechos acaecidos hace billones de años antes de que él llegase a la existencia» (Gamow: 1963, 185-188).

Pero las alusiones religiosas en relación con la cosmología Big Bang no acaban aquí. El 12 de marzo de 1978 Arno Penzias declaró al *New York Times*: «Los mejores datos que tenemos son exactamente lo que yo hubiera predicho, aunque sólo hubiera tenido como base los cinco libros de Moisés, los Salmos, la Biblia en su conjunto». Y, más recientemente, G. Smoot y J. Mather, los dos investigadores principales del proyecto COBE (Premio Nobel de Física en 2006), afirmaron refiriéndose a los mapas de variaciones de la radiación cósmica de fondo que «para un creyente sería como ver el rostro de Dios» (Stenico: 2013, 146). No es por tanto de extrañar que Joseph Ratzinger escribiera, cuando aún no era Benedicto XVI, que «la física y la biología, las ciencias naturales en general, nos han proporcionado un nuevo, inaudito, relato de la Creación, con grandes y nuevas imágenes que nos dejan reconocer el rostro del Creador» (Soler Gil: 2016, 179).

4. En conclusión, por decirlo con Gustavo Bueno (1996a, 58), «la física, en nuestros días, suele hacer un uso transfísico de sus categorías y, por medio de teorías como la del Big Bang desarrolla, a veces, visiones que son literalmente metafísicas, por no decir mitológicas, visiones que es preciso someter a una crítica filosófica».

Capítulo 22
A vueltas con el principio antrópico

1. En 1973, durante un simposio en el que se conmemoraba el 500 aniversario del nacimiento de Copérnico, el físico teórico Brandon Carter formuló el «principio antrópico» partiendo de lo delicados que son los valores de las constantes de la Naturaleza, pues cualquier ligera modificación de los mismos provocaría que los seres humanos no existiésemos. Carter acuñó este principio para argumentar que, después de todo, la Humanidad sí que ocupa un lugar especial en el Universo, privilegiado en el sentido de permitir el desarrollo de la vida basada en el carbono. El Cosmos se comporta siguiendo una de las aparentemente escasas combinaciones hospitalarias de leyes y constantes. Unos valores ligeramente diferentes y no sólo no se hubieran desarrollado estructuras complejas (incluyendo aquí la vida y la vida inteligente), sino que el Universo hubiera colapsado inmediatamente tras el Big Bang o consistiría en partículas demasiado alejadas unas de otras como para interactuar. Y la consecuencia que Carter extrajo es que cualquier teoría cosmológica que aspire a ser válida ha de ser compatible con las condiciones de existencia del hombre. Aquello que es factible observar, como los valores de las constantes físicas y cosmológicas, está restringido por las condiciones necesarias para nuestra presencia como observadores.

Sin embargo, la reflexión de Carter sobre el ajuste fino de las constantes naturales no era enteramente nueva. En 1937 Dirac había planteado la «hipótesis de los grandes números», por la cual ciertas cantidades

adimensionales muy grandes que aparecen en las leyes de la física están relacionadas unas con otras. Por ejemplo: el cociente entre las fuerzas eléctrica y gravitatoria entre el protón y el electrón es del orden de 10^{39}, al igual que el cociente entre la edad del Universo y el tiempo que tarda un rayo de luz en atravesar el radio del electrón. Además, como ya había notado Hermann Weyl, la gran diferencia de magnitud entre la fuerza electromagnética y la fuerza gravitatoria es también de este orden. Una serie de innumerables coincidencias que para Dirac no podía ser casual y tenía que deberse a alguna relación intrínseca entre la física atómica y la cosmología. El físico británico siguió buscando relaciones y encontró que la mayoría de ellas respondían a potencias próximas a 10^{39} ó 10^{78}, de donde infirió que todos los grandes números sin dimensiones son funciones sencillas de la edad del Universo, de manera que las constantes físicas podrían no ser tales constantes sino depender en último término de la edad del Universo. Las coincidencias numéricas encontradas por Dirac y las parecidas halladas por Eddington y Jordan[65], que algunos físicos tildaron despectivamente de «cosmonumerología», fueron analizadas posteriormente por Robert Dicke en la década de los sesenta. Dicke observó que si la gravedad fuese un poco más intensa, las estrellas hubieran colapsado antes de generar elementos pesados como el carbono, necesarios para la aparición de vida.

En 1986, John D. Barrow y Frank J. Tipler desdoblaron el principio de Carter en su controvertido libro *El principio antrópico cosmológico*. Allí, aparte de presentar una muestra bastante amplia de casos de posible ajuste fino de leyes y constantes físicas, distinguieron entre un principio antrópico débil y otro fuerte. La versión débil afirma que nuestra ubicación en el Universo, esta parte del Cosmos que habitamos, ha de ser compatible con la existencia de observadores. Lo que, ajustado en sus clavijas, no deja de ser tautológico, una verdad de Perogrullo: si esta región del Universo no fuese como es, nosotros no existiríamos, no estaríamos aquí para observar nada, por lo que no debemos sorprendernos de que esta región del Universo reúna precisamente las

65 Otra curiosa coincidencia, estudiada en su día por Paul Ehrenfest, es que las órbitas elípticas estables de los planetas sólo son posibles en un Universo con dos o tres dimensiones espaciales, porque en un Universo con más dimensiones espaciales se desbaratan ante la menor perturbación, encaminando al planeta en una espiral de caída hacia la estrella central o expulsándolo hacia el infinito (Birch: 2016, 347).

condiciones de posibilidad de nuestra existencia. Hacer lo contrario es dejarse embaucar por la circularidad del trilero: metemos el guisante bajo el vaso y, al levantarlo, nos sorprendemos de que el guisante aparezca. Por otra parte, esta versión del principio antrópico descansa en el límite sobre el viejo principio de homomensura de Protágoras, donde el hombre más que la medida es la unidad de medida, el patrón de medida, de todas las cosas (sin que esto implique necesariamente la conmensurabilidad del hombre con todas las cosas, claro). En este estricto sentido, el principio antrópico no encierra ninguna teleología cósmica ni cae en ninguna metafísica antropocéntrica delirante, porque se limita a reconocer la estructura antrópica (zootrópica) del Universo. La escala de las cosas, conformadora del Universo, es la escala humana o zoológica: hasta las «entidades precámbricas» están delimitadas desde el organismo (Bueno: 2016, 298-300 y 342).

Pero, a diferencia, el principio antrópico fuerte considera que nuestro Universo como un Todo ha de admitir la presencia de vida, la creación de observadores conscientes en alguna fase de su historia. Lo que inserta al hombre en el *telos* del Cosmos y aboca al diseño inteligente, a tomar el valor de las constantes naturales como prueba de un propósito demiúrgico o divino. La cosmología se convierte así en sierva de la teología natural, en teología disfrazada de matemáticas. Muchos cosmólogos, a fin de evitar este trance, abrazan la hipótesis del Multiverso (un término introducido por Martin Rees, astrónomo real de Inglaterra). Esta hipótesis, que guarda cierto parecido con la interpretación de los «muchos mundos» favorecida por Hugh Everett en los cincuenta para resolver el problema de la medida en mecánica cuántica, se les planteó en el contexto de la cosmología inflacionaria a Andrei Linde, Alex Vilenkin y sus colaboradores en los ochenta y noventa. Imaginaron una sopa de Universos surgiendo cual pompas de jabón a partir de fluctuaciones cuánticas del vacío (toda la masa y energía se crearían virtualmente de la nada) en una inflación caótica y eterna. En estas condiciones, nuestro Universo, con sus características tan especiales, no sería sino uno entre un número arbitrariamente grande de Universos-burbuja del Multiverso.[66] La estrategia de estos

66 Algunos cosmólogos llaman Multiverso simplemente al Universo infinito, dado que debería englobar una cantidad infinita de volúmenes de Hubble, es decir, para entendernos, de Universos observables, de regiones causalmente desconectadas que abarcan todos los objetos

cosmólogos es, ya que no quieren recurrir al argumento del diseño inteligente ni pueden ofrecer una explicación causal de las coincidencias observadas, dar una explicación estadística o aleatoria de las mismas; pero que es irremediablemente metafísica, ya que diluyen nuestro Universo en un conjunto infinito de Universos inobservables por principio.

A pesar de que los defensores del Multiverso aduzcan que se trata de una argumentación legítima, conviene reparar en una gran diferencia. Cuando, perplejos ante el hecho de que nuestro planeta albergue vida (lo que podría hacernos creer en un diseñador inteligente), reparamos en la existencia de un número inmenso de estrellas y la detección de una cantidad significativa de planetas, comprendemos que la existencia de vida en la Tierra se trata de una casualidad. Ahora bien, cuando, sorprendidos por la existencia de vida en nuestro Universo, los cosmólogos apelan a una población de otros Universos, soslayan que no conocen otro Universo más que este, por lo que la hipótesis del Multiverso no puede tener poder explicativo. Es cierto que *si* existiera una población de Universos con leyes distribuidas al azar, no nos sorprendería tanto encontrarnos en uno donde hay vida. Pero el hecho de encontrarnos en uno donde hay vida no puede utilizarse para confirmar la hipótesis del Multiverso. Pese a que sus partidarios indiquen que esta clase de razonamiento antrópico fue empleado «científicamente» por Fred Hoyle o Steven Weinberg para hacer predicciones más tarde confirmadas (sobre las propiedades del carbono o los valores admisibles de la constante cosmológica), hay que percatarse de que cometen la falacia del fiscal: del hecho de que la probabilidad de observar O suponiendo cierta la hipótesis H sea alta se deduce erróneamente que la probabilidad de que H sea cierta suponiendo que se ha observado O es también alta («si soy el ladrón, es probable que lleve una buena suma de dinero encima; pero que lleve una buena suma de dinero encima no implica que sea el ladrón»).

Es más, cuando los cosmólogos –por ejemplo, Roger Penrose (2006, 494)– estiman que la probabilidad de un Universo como el nuestro es

---

cuya luz ha tenido tiempo de llegar hasta el hipotético observador (porque, recordemos, mirar lejos en el Cosmos es ver temprano). Lo que creemos nuestro Universo se limitaría, entonces, a una porción muy pequeña de cuanto es en su integridad. Según esto, habría «muchos mundos» en total dentro de uno.

de 1 entre $10^{10^{123}}$ (sí, lector, lo que lees), la pregunta que surge inmediatamente es la siguiente: ¿qué significa esa probabilidad, dado que el espacio muestral –el conjunto de casos posibles, el Multiverso– es, por definición, pura imaginación? No contentos con esto algunos cosmólogos, como Max Tegmark (2003), fantasean con un Multiverso matemático, al figurarse que consistencia matemática y existencia física son equivalentes, de forma que todas las estructuras matemáticas consistentes existirían también físicamente (así, habría tantos Universos como combinaciones posibles de leyes y constantes naturales).[67] E incluso, otros cosmólogos, como Vilenkin (2009, 156-157), afirman sin ruborizarse que ahora mismo, querido lector, hay una cantidad infinita de duplicados suyos leyendo este mismo libro en planetas exactamente iguales a la Tierra localizados en Universos paralelos. Definitivamente, la cosmología ha embotado el filo de la navaja de Occam.

2. En las fórmulas físicas, las constantes numéricas poseen siempre algún significado. Por ejemplo, si se estudia empíricamente la relación entre el periodo T de un péndulo, su longitud l y la aceleración de la gravedad g, se llega a la fórmula:

$$T = 6,283 \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

¿Qué es ese número 6,283? Puede comprobarse fácilmente que es una aproximación de 2π. Y empleando las ecuaciones de la mecánica teórica puede deducirse la fórmula general y que la constante adimensional ha de ser, efectivamente, 2π. Sin embargo, otras constantes, que ya no son matemáticas sino físicas, como la constante de estructura fina (≈ 1/137), que da cuenta de lo intensa que es la

67 Tegmark incluso resuelve el enigma de la efectividad de las matemáticas recurriendo al Multiverso. Un Universo donde las matemáticas no funcionasen sería un Universo donde las reglas y los relojes se dilatarían caóticamente, como en un cuadro de Dalí, de modo que sería imposible realizar cualquier medición o cálculo. Ahora bien, en esta clase de mundo no podría haber observadores que constatasen la inefectividad de las matemáticas. En consecuencia, mirando ahora a nuestro Universo, Tegmark deduce que las condiciones para la existencia de seres como nosotros también están detrás de la efectividad de las matemáticas. El problema con esta argumento –cuyo carácter antrópico, ligado a la escala del sujeto operatorio, no es extraño al materialismo filosófico– es, como subraya Soler Gil (Arana & *al.*: 2012, 205), que explica la efectividad de la matemática en nuestro Universo, pero reproduce el enigma a otro nivel: ¿por qué la matemática funciona para describir el Multiverso en conjunto? (A lo que Tegmark responde invocando un platonismo exacerbado, que identifica realidad física y realidad matemática.)

interacción electromagnética comparada con otras, no son ya deducibles matemáticamente sino sólo determinables experimentalmente. No obstante, algunos cosmólogos intentan deducirlas mediante análisis dimensional y ejercicios numerológicos. Eddington, por ejemplo, pretendió explicar el valor de la constante de estructura fina recurriendo al número de elementos libres en una matriz cuadrada simétrica de orden 16 (eligió este orden porque 16 es el cuadrado de 4, de las dimensiones del Universo). Un intento que fue ridiculizado por otros físicos, como Hans Bethe, al que le pareció una especulación de salón. Pero, ¿acaso no es la misma clase de especulación imaginar un Multiverso compuesto de infinitos Universos, donde cada uno poseería un valor de la constante de estructura fina (correspondiendo el nuestro a 1/137)?

Con el propósito de terminar de poner en guardia ante esta numerología, vamos a fijarnos en un ejemplo entresacado de las matemáticas: el número de oro. Aunque Proclo lo atribuye a Platón, fue Euclides quien enseñó en los *Elementos* a dividir un segmento en media y extrema razón, de modo que el todo sea a la parte mayor como la parte mayor es a la menor. Esta razón arroja un valor de

$$\frac{1+\sqrt{5}}{2} \approx 1,6180\ldots$$

Un número irracional, una magnitud inconmensurable, que cual broma del destino también se encontraba inserta en la pentalfa de los pitagóricos, a pesar de que ellos pensaban que todas las magnitudes eran conmensurables entre sí, que todos los números eran racionales. Hubo de pasar más de un milenio para que a esta constante matemática comenzase a dársele una significación física. En *La divina proporción* (1509), el fraile Luca Paccioli estableció una serie de analogías entre esta proporción y Dios: su valor numérico era único, pero venía dado por una trinidad de segmentos. Era, por tanto, como Dios: Uno y Trino. Pese a lo que normalmente se afirma, esta proporción no aparece mencionada en el estudio anatómico del hombre de Vitrubio realizado por Leonardo, y su presencia sólo destaca en la espiral de Durero (con su Ojo de Dios) y en el platonismo kepleriano, ya que Kepler consideró la división de un segmento en media y extrema razón como una joya preciosa dentro de su obra *Mysterium Cosmographicum* (1596), en la cual el astrónomo alemán desvelaba el secreto del Cosmos, la

proporción maravillosa que se daba entre las esferas celestes concebidas en términos de los cinco sólidos platónicos.

Lo que sigue es un silencio clamoroso con respecto a la proporción divina hasta el siglo XIX, cuando el matemático alemán Martin Ohm –hermano del físico– la rebautiza como «sección áurea» en 1835. Y no es hasta Mark Barr, en 1900, cuando se comienza a hablar del «número áureo» denotándolo por *Phi* (Φ ó φ) en honor a Fidias. Es, en suma, durante el siglo XX cuando comienza a rastrearse obsesivamente su presencia tanto en el arte (encontrando rectángulos áureos en el Partenón o en El Escorial e, incluso, una espiral áurea en Las Meninas que acabaría en el corazón de Velázquez) como, atención, en la naturaleza (en la relación entre la altura de una persona y la distancia entre el ombligo y los pies, en la distribución de las hojas de las plantas, en la forma de las caracolas o las piñas, en la percepción de la belleza, &c.). Toda una numerología sacra que proyecta el número de oro en el Universo, a pesar de que este número pasó prácticamente desapercibido para científicos y artistas durante siglos.

Añadamos al ejemplo áureo la pregnancia de otros números como π, *e* o los números primos. En su novela de ciencia-ficción *Contacto*, Carl Sagan imaginaba que la especie humana tomaba contacto con una especie no-linneana gracias a la trasmisión de la secuencia de los números primos, y el programa SETI a cargo de Frank Drake busca desde finales de la década de 1950 señales de vida inteligente extraterrestre basadas en patrones matemáticos (examinan las radiaciones y los sonidos que llegan de ciertas estrellas intentando encontrar regularidades que sigan la secuencia de los números primos o los dígitos de π). De hecho, Sagan y Drake son los instigadores de que las sondas espaciales Pioneer de la NASA porten unas placas donde, aparte de un hombre y una mujer desnudos (como si el hombre, más que un mono desnudo, no fuese en realidad el mono vestido, esto es, un animal dotado de instituciones como la indumentaria), se ofrece un esquema relativo al Sistema Solar, a los púlsares más cercanos al Sol y en cada uno su secuencia de pulsos en sistema de numeración binario (el dígito binario 1 también aparece en la placa debajo de una representación esquemática de la transición hiperfina del hidrógeno). La esperanza de estos astrónomos radica en que si esta suerte de botella intergaláctica que codifica cierta información, e incluso las cifras de alguna constante de la naturaleza, cae en manos de una supuesta

civilización extraterrestre, ésta sabrá reconocer la inteligencia del emisor. Pero la pregunta que queda flotando es, como se planteaba Barrow en su best-seller *Teorías del Todo*: «¿Está *pi* realmente en el cielo?». ¿Son las constantes matemáticas, físicas y cosmológicas realmente universales y, por tanto, reconocibles por animales no-linneanos inteligentes?

Desde nuestras coordenadas, el fundamento de π, *e* ó Φ no requiere apelar a fundamentos místicos, demiúrgicos o a escala cósmica. Basta asumir una interpretación antrópica –que no antropocéntrica– de la homomensura de Protágoras: el hombre no es la medida de todas las cosas, sino la unidad de medida de las demás cosas. Las operaciones del sujeto gnoseológico producen el desbroce de los fenómenos en el que en ocasiones se muestran proporciones invariantes, independientes del sujeto operatorio, como la que tiene que ver con la razón entre la longitud de la circunferencia y su diámetro. De esto se colige que sin las operaciones de los sujetos humanos (sin el trazado de la circunferencia o del diámetro de la misma) no pueden establecerse estas constantes; pero también que sin la neutralización de estas operaciones, sin la eliminación de los aspectos subjetivos que implican (como el tamaño relativo de las circunferencias bajo consideración, ya que π = L / D en una circunferencia, pero también π = L' / D' en otra), no puede haber verdades científicas, teoremas (como L = π · D para cualquier circunferencia). Cuando las operaciones se eliminan totalmente, se regresa a un plano α y tenemos una ciencia «formal o natural», como las matemáticas o la física. En cambio, cuando sólo de da una neutralización relativa de las operaciones, porque –por ejemplo– las operaciones del sujeto gnoseológico se confunden con las operaciones del sujeto temático, nos mantenemos en un plano β y tenemos una ciencia «humana», como la historia. Así, ciertas proporciones, como la áurea, pueden encontrarse no sólo en el hombre y sus artefactos (como los folios A4 o las tarjetas de crédito) sino también en un caracol o una piña, lo que les hace cobrar objetividad. Pero, recíprocamente, conviene no perder de vista que el punto de partida de cualquier ciencia (formal, natural, etológica o humana) es siempre la técnica, las operaciones a escala antrópica. Por esta razón, cuando algunos cosmólogos –como Vilenkin (2009, 277)– especulan con que el Creador del Cosmos está obsesionado con las matemáticas y se preguntan maravillados «¿qué tiene que ver el movimiento de Venus o Marte con las secciones de un cono?», hay que responderles drásticamente: «¡Nada en absoluto

sin las operaciones humanas que proyectan esas trayectorias planetarias sobre el plano de un papel!».

Aunque el valor de ciertas constantes físicas rebase el círculo del hombre, no por ello rebasa cualquier círculo categorial, hasta estamparse en el *telos* del Cosmos (como si el Universo como un Todo fuese operable y pudiese tener algún propósito o designio). En este sentido, la constante de gravitación universal *G* no es una constante universal o de la Naturaleza, porque a lo que compromete de modo inmediato no es al Mundo sino al sistema de la balanza de Cavendish. Del mismo modo, la carga del electrón *e* no es otra constante de la Naturaleza sino propiamente hablando del montaje experimental de la gota de aceite de Millikan. El radio de los círculos categoriales de las ciencias respectivas, de la mecánica y de la electrodinámica, se ha ido, ciertamente, ampliando, pero no se ha hecho infinito. Una hipóstasis que hay que evitar al enjuiciar el significado cosmológico de las constantes físicas.[68]

3. Finalmente, al hilo de las reflexiones de los cosmólogos en torno al principio antrópico, es pertinente volver a atender a los componentes míticos y teológicos de su argumentación. Cuando hablan de la vida en el Cosmos, parecen dar por sentado que hay más vida que la terrestre, pero la astrobiología o la exobiología han de comenzar, al igual que la teología, demostrando la existencia de su objeto, ya sea Dios o la vida extraterrestre. Abundando: para algunos cosmólogos creyentes, el principio antrópico desempeña en cosmología el papel del argumento ontológico en teología. En efecto, para San Anselmo, la perfección de Dios exigía su existencia y, para los partidarios del principio antrópico en su versión fuerte, la perfección del Cosmos, el ajuste fino de las constantes cosmológicas, exige la aparición de vida inteligente e, incluso, el diseño inteligente.

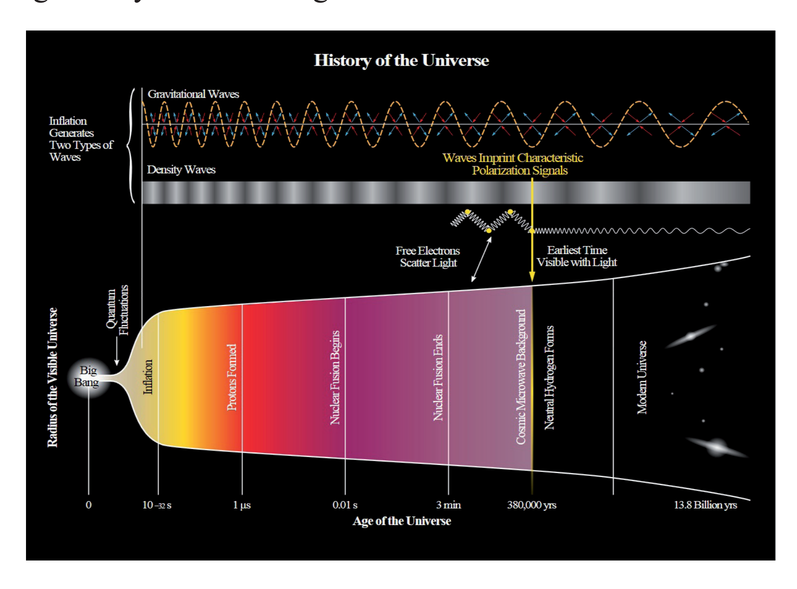
Un ejemplo de esto último nos lo proporciona Soler Gil (2016), cuya estrategia es salvar la cosmología a fin de tender un puente hacia la teología. «La imagen actual del Cosmos puede ser interpretada con sencillez y naturalidad desde una perspectiva teísta» (Soler Gil: 2016, 175). Para este filósofo de la cosmología, la imagen del Universo que resulta de la

---

68 Hemos salvado el problema del ajuste fino de las constantes cosmológicas cuestionando precisamente su carácter cosmológico; pero, desde el materialismo filosófico, también cabe la posibilidad de criticar la búsqueda de una explicación para su valor invocando el argumento victorioso de Diodoro Cronos: «sólo lo real es posible».

cosmología actual se muestra compatible con la concepción teológica del Universo como un objeto racional orientado hacia unos fines específicos. A su juicio, la cercanía de la cosmogonía Big Bang con el relato bíblico de la Creación es innegable, y tanto el ajuste fino de las leyes naturales que hace posible la vida humana como que el ser humano –aunque no ocupe una posición privilegiada en cuanto a tamaño o duración– esté situado en el pico de la escala de la complejidad serían indicios de que es *Imago Dei* (Soler Gil: 2016, 213).

Terminamos este capítulo con una comparación que da que pensar, entre un esquema de la historia del Universo entresacado de una obra de divulgación científica y un grabado del *De integra microcosmi harmonia* de Robert Fludd (1619). Si en la ilustración científica el origen del Cosmos corresponde al Big Bang, en la ilustración teológica corresponde a Dios, representado también como una suerte de punto de ignición o explosión de la que emana todo. Por otro lado, es manifiesta la semejanza estructural entre la *Scala Naturae* que introduce el relato cosmológico (desde las fluctuaciones cuánticas a los protones, los átomos de hidrógeno, las galaxias y el Universo actual) y la que propone el relato teológico (desde la Creación al Hombre, pasando por la jerarquía angélica, el casquete de estrellas fijas, los cinco planetas, el Sol, la Luna y la Tierra). El principio antrópico muestra, en suma, lo vulnerable que es la cosmología a los mitos teológicos y a caer en la tentación de confeccionar un génesis y una escatología.



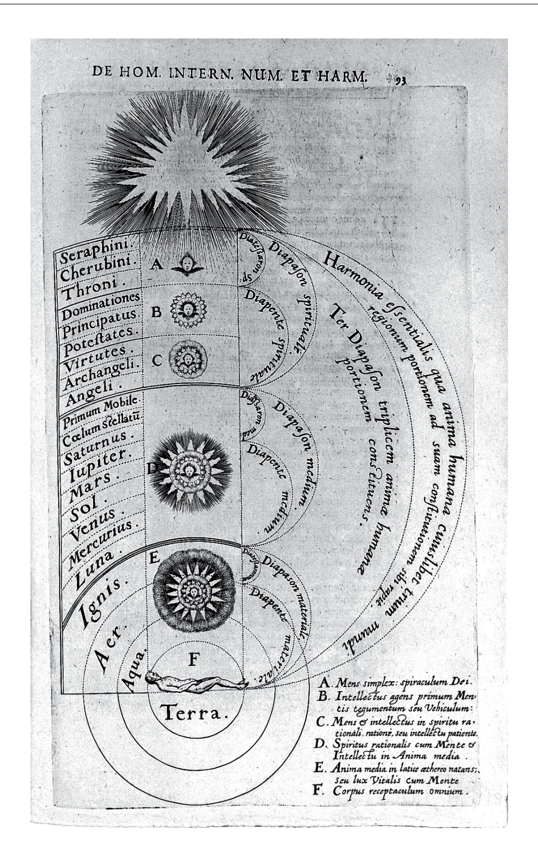


Figura 12: *A la izquierda, una representación esquemática de la historia del Universo según la cosmología moderna. A la derecha, un grabado realizado por el médico y filósofo inglés Robert Fludd en 1619. Ambos relatos comparten una estructura escalonada de emergencia de la complejidad*

Capítulo 23
El mito del Cosmos

1. Es el momento de comenzar a recopilar conclusiones. Frente a la ambigüedad o la asepsia *ad nauseam* de las filosofías de la ciencia predominantes, que muestran una dependencia crónica de las corrientes doxográficas de moda o de la filosofía espontánea de los científicos, el materialismo filosófico y la teoría del cierre categorial propician un vuelco, una filosofía crítica de los mitos y las ideologías del presente. Uno de los mitos más férreos y pertinaces de nuestro presente es, precisamente, el mito del Cosmos (la creencia en que existe un Cosmos que el Hombre conoce gracias a la Ciencia), cuyo fuel se refina en la cosmología moderna (la cosmología nos explica, supuestamente, la creación, la arquitectura y el final del Universo, su extensión en el espacio y su duración en el tiempo). Pues bien, hasta donde alcanzamos, el Hombre no conoce el Cosmos gracias a la Ciencia; porque, en primer lugar, la Ciencia no es conocimiento y, en segundo lugar, porque no hay ningún Cosmos que conocer. Veamos cómo la gnoseología vuelve a entrecruzarse con la ontología.

2. No es este el lugar para repetir, siquiera sucintamente, las líneas generales de la teoría del cierre categorial, es decir, de la filosofía de la ciencia del materialismo filosófico. Pero sí parece razonable recuperar algunas de las ideas que vertebran este ensayo de una filosofía materialista de la cosmología. La primera de ellas es que para esta teoría de la ciencia las ciencias no tienen un objeto de estudio único sino

un campo operatorio formado por múltiples objetos y desbrozado por técnicas previas. De acuerdo con esto, y según hemos mantenido en 21.1.3, la cosmología no es la ciencia del Universo; porque es imposible que su campo cope la realidad al completo. No existe el Cosmos, el Universo o la Naturaleza como un todo atributivo, susceptible de ser globalizado y estudiado científicamente. Al igual que no existe la Cultura o el Hombre –así, en mayúscula y en singular– sino que existe una pluralidad de culturas y de hombres (españoles, ingleses, griegos, romanos, azande…). Es necesario, por tanto, acotar el campo para no deslizarse hacia el monismo.

La totalización sería, en el mejor de los casos, distributiva, es decir, sin una vinculación acabada entre las partes, de acuerdo con el principio de *symploké*: «ni todo está vinculado con todo, ni nada está vinculado con nada». Pero contra esto cabe aducir, siguiendo a González Hevia (2010), que la consideración del Cosmos, el Universo o la Naturaleza como un todo es en sí misma problemática; ya que la teoría de los todos y las partes se construye a una escala antrópica, donde un todo es siempre una multiplicidad limitada, es decir, que consta de partes pero que también se encuentra delimitada por otras multiplicidades que la envuelven y con las cuales puede combinarse. Desde esta perspectiva holótica, el mito del Cosmos o mito de la Naturaleza consiste en organizar todo ese complejo fenoménico que se despliega ante los hombres como un todo sustantivo, en concebir la Naturaleza como la reunión e integración de todas las naturalezas. Pero el Cosmos o la Naturaleza, la *physis* de raigambre presocrática (con su carácter único, primordial y monista), no es ni puede ser una totalidad, puesto que el Universo no está rodeado en principio por nada, por ningún otro todo. Es, *mutatis mutandis*, lo que ocurre en teoría de conjuntos, donde el conjunto de todos los conjuntos no es un conjunto. La Idea de Cosmos, Universo o Naturaleza como totalidad única de todas las totalidades, como todo absoluto ilimitado, no sería en el fondo originaria sino una Idea límite, fruto de la reiteración infinita de las relaciones de todo a partes y de la proyección de las propiedades de los contenidos de lo real a la realidad en general. Conviene insistir en este punto: la idea de una totalidad universal, ordenada y cognoscible es cualquier cosa menos evidente, a pesar de la gran popularidad de la cosmología en nuestro presente. Podrán existir islas de orden, pero la

concepción de un océano globalmente ordenado resulta excesivamente aventurada. Para el materialismo filosófico, el hiato entre el mundo centrado en torno al hombre (M_i) y el Universo o el Cosmos tal como es entendido por los cosmólogos cuando filosofan espontáneamente (y que podríamos asimilar a M) es insalvable, no hay conexión posible, porque la Naturaleza sólo puede entenderse desde dentro, desde la concatenación entre unos fenómenos y otros que establece el propio hombre (el ego trascendental E). Fernando Savater (1999, 124-125) capta el quid de la cuestión al escribir:

> ¿Y si no hubiera tal cosa como la supercosa-Universo? ¿Y si sólo hubiera cosas, innumerables cosas que se suceden unas a otras, se juntan y se separan, acaban y empiezan, pero no hubiera ninguna gran Cosa formada por todas las cosas? […] Desde la antigüedad, la negación del Universo como objeto único está ligada a la filosofía materialista […] En filosofía, el materialismo es una perspectiva caracterizada básicamente por dos principios complementarios: primero, no existe un Universo sino una infinita pluralidad de mundos, objetos o cosas que nunca se pueden concebir o considerar bajo el concepto de unidad; segundo, todos los objetos o cosas que percibimos están compuestas de partes y antes o después se descompondrán en partes.[69]

Pero hay más. El mito del Cosmos o de la Naturaleza, correlativo al mito del Hombre o de la Cultura, ignora que esa Naturaleza, ese Universo o ese Cosmos que supuestamente conocemos gracias al avance de las ciencias está ya roturado por las técnicas: es, por ejemplo, el mundo acotado del laboratorio, con sus aparatos, sus substancias industriales enclasadas, &c. En el laboratorio no hallamos –como subrayamos al final de la Parte I– por ningún lado a la Naturaleza, ya que los científicos operan en (y sobre) una realidad artificial y prefabricada, conformada por textos, gráficos, imágenes filtradas, instrumentos de medida, agua esterilizada, reactivos purificados industrialmente, plantas y ratas criadas selectivamente… (Knorr-Cetina en Iranzo: 1994, 190).

Cuando los científicos operan transformando los objetos característicos del campo aparecen en algunas ocasiones relaciones o estructuras invariantes –independientes del sujeto operatorio– entre partes del campo. Son los teoremas científicos. Las verdades gnoseológicas no

---

69 En el *Curso de filosofía positiva* (1842), Comte expresó también su rechazo a la posibilidad de una ciencia cosmológica: «El campo de la filosofía positiva cae completamente dentro de los límites del Sistema Solar; el estudio del Universo no resulta accesible en ningún sentido positivo» (citado por Soler Gil: 2016, 34).

son, según mantuvimos, naturales (tampoco meramente culturales), ya que remiten obligatoriamente a unos contextos determinantes (la campana de Lavoisier, la cámara de niebla o los telescopios). En este sentido, las leyes científicas no son las Leyes del Cosmos o de la Naturaleza, sino las leyes del laboratorio que envuelve a los científicos y, por extensión, del mundo que envuelve al resto de sujetos operatorios. Son leyes *objetivas* pero, simultáneamente, *relativas* a esas piezas insustituibles que incorporan de forma reificada toda una actividad científica previa que son los aparatos. «Se puede sostener perfectamente que la ley de Ohm (Resistencia = Voltaje / Intensidad) es, en principio, aplicable de forma universal; [pero] intenta demostrarla en la práctica sin un voltímetro, un amperímetro y un potenciómetro» (Latour: 1992, 237).

La ciencia es como la red de ferrocarriles: se ha extendido por todo el mundo, pero no circula sin raíles. Es un universal, pero no por las razones que suelen aducir los científicos o los epistemólogos adecuacionistas. No es que la ciencia capte o nos desvele la estructura última del Cosmos, como si la Naturaleza poseyese una estructura concebible al margen de la acción humana; sino que, cuando se verifica un hecho o una máquina funciona, es que las condiciones del laboratorio se han extendido con éxito (Latour: 1992, 237). Seguir a los objetos científico-técnicos desde su transformación en el laboratorio hasta su implantación en áreas externas al laboratorio da fundamento material a la universalidad de muchos contenidos científicos (sin perjuicio de que su necesidad sea una cuestión interna y un problema filosófico distinto, aunque a veces se confundan ambos). Pero esta extensión de las prácticas del laboratorio a otras parcelas de la realidad requiere transformar a fondo esa parcela ontológica, movilizar mundos: convertir una sala de hospital en un laboratorio para hacer un radioinmunoensayo; tender una cuadrícula de hilos y recoger una batería de muestras del suelo antes de comenzar un análisis edafológico; cuadricular el terreno con marcas suficientes y realizar sucesivas triangulaciones para levantar un mapa; &c. Es así que, desde la perspectiva de la teoría del cierre, decimos que la ciencia, más que aplicarse a la realidad, se traga partes de la realidad. No son las formas a priori kantianas sino las operaciones quirúrgicas del sujeto operatorio armado con todo un arsenal de aparatos lo que determina las condiciones de

posibilidad de la ciencia. Encontramos una plataforma positiva y a posteriori de la trascendentalidad de la ciencia en la capacidad de extensión del espacio operatorio del sujeto corpóreo, en la propagación de las estructuras del sujeto operatorio en el mundo de la experiencia. Y si la ciencia no se funda sobre teorías sino sobre técnicas, elaborar una historia exenta de las teorías científicas es tan absurdo como hacer una historia de los martillos sin mencionar los clavos, los tablones, las casas y los carpinteros (y este desvarío es lo que da lugar a las especulaciones sobre el milagro de la adecuación entre teoría y mundo).

Los teoremas científicos nos muestran, en suma, el funcionamiento del mundo-entorno de los hombres. Un mundo-entorno que, cuando aparecen nuevos aparatos, se reorganiza y, al mismo tiempo, va viendo ampliado su umbral siguiendo distintos vectores. Así, conforme a un vector macrocósmico (ligado a los interferómetros y los radiotelescopios), se pasó de la teoría de la gravitación de Newton a la de Einstein y a la astrofísica. Conforme a un vector microcósmico (unido a los tubos de descarga y los microscopios electrónicos) se pasó de la teoría atómica clásica a la teoría cuántica y a la física de partículas. Aunque a escala mesocósmica la mecánica clásica sigue rigiendo y empleándose, pues no está –como suele decirse– refutada sino sólo reemplazada dentro de la parcela de realidad que contiene ciertos aparatos (de igual manera que el análisis matemático no sustituye a la teoría de números). Ahora bien, el módulo de estos vectores no es infinito y de esta forma hay que advertir que la cosmología relativista se funda en una teoría de la gravitación probada a la escala del Sistema Solar o de agregados galácticos, y que cuando se aplica al Universo a gran escala se produce un salto más allá de los contextos determinantes, siempre artificiosos, creados en el entorno terrestre, creyéndose ipso facto la replicación de ciertos esquemas de identidad *ad infinitum*.

Cuando los teoremas científicos logran, además, ser organizados sistemáticamente unos con otros, enlazados mediante principios comunes, el campo se cierra, determinando una categoría científica, que no describe ni mapea la realidad, sino que la constituye, porque los términos y las estructuras que delimitan los científicos no son realidades descubiertas, sino una especie de ampliación de la realidad hacia el pasado, hacia el microcosmos, hacia el macrocosmos, en el terreno de las matemáticas, en el *mundus adspectabilis*, en todas direcciones.

La ciencia no representa, por tanto, la realidad; porque la realidad no es dato, algo dado, regalado, sino que es construcción que el hombre hace con diversos materiales. La consecuencia de todo esto es que los teoremas científicos no son esencialmente conocimiento. La escala gnoseológica de análisis de las ciencias permite reinterpretar la escala epistemológica y dinamitar la tesis ciencia = conocimiento, por la que podía asumirse ingenuamente que la ciencia aspira a «conocer» un Cosmos, un Universo que está esperando ser conocido.

Ciertamente, el mundo presenta líneas de tendencia estables que impiden que nuestros conceptos lo recorten arbitrariamente. Pero no por ello las verdades científicas nos transportan a un mundo constituido al margen del sujeto operatorio. Que hagan falta años de duras labores para obtener una verdad científica es algo que no se debe olvidar, bajo pena de creer que el signo refiere al mundo sin esfuerzo y sin transformación, o que lo designa de forma autónoma. De manera que el mundo objetivo se nos presenta como una suerte de espectro de absorción practicado por nuestra subjetividad al intervenir en la realidad envolvente. Con otras palabras: la morfología del mundo de la ciencia está dada, en segmentos esenciales, a una escala antrópica, pues las operaciones del sujeto gnoseológico siempre tienen lugar a la escala del cuerpo humano.

Aquí entra de nuevo la dialéctica del hiperrealismo. En su faena, los científicos construyen nuevos términos a partir de otros ya dados (el matemático, los números reales a partir de los números racionales; el físico, nuevas partículas en los aceleradores, a la manera que el músico produce nuevos sonidos con el órgano; el biólogo, las células; el químico, el oxígeno; &c.). La ciencia comprende un proceso (material) de incorporación e integración de objetos en nuestro lenguaje y en nuestras prácticas (Knorr-Cetina en Iranzo: 1994, 203). Lo interesante es que estos nuevos objetos no son culturales, pero tampoco naturales. Lo que obliga al materialismo filosófico a superar el dualismo metafísico Naturaleza/Cultura y hablar de un tercer género de materialidad: las ciencias contribuyen masivamente en la confección del mundo aportando estructuras transnaturales y transculturales, de una tercera clase; pero que, una vez construidas, han de ser reconocidas como esencias preexistentes independientemente («hiperreales»). Es lo que Woolgar (1990, 93-97 y 104-104) llamaba, según su terminología, el proceso

de ocultación, por el que los objetos científicos se enajenan y adquieren vida propia, autosubsistente. La teoría del cierre defiende que los descubrimientos científicos no son descubrimientos manifestativos (hechos puntuales, revelaciones de algo que siempre ha estado ahí) sino constitutivos (procesos que se extienden en el tiempo tanto hacia delante como, atención, hacia atrás, pues retrospectivamente siempre proyectaremos el objeto descubierto en el pasado). Las ciencias amplían la realidad haciendo trozos del mundo a distintas escalas, desde los quarks o los electrones a los enjambres de estrellas lejanas (unos cúmulos de estrellas que sólo aparecen en el mundo de los radiotelescopios y no entre las morfologías de nuestro *mundus adspectabilis*, pues no podemos percibirlos segregadamente).

El Cosmos de la cosmología es, empero, una realidad objetiva pero parcial (no es asimilable al Todo) y configurada a una escala antrópica. Es el hombre el que puebla los cielos –y es que no puede sortearse que el Cosmos de la cosmología sólo entronca con nuestro *mundus adspectabilis* cuando miramos al cielo– de entidades hiperreales como púlsares, cuásares, agujeros negros, singularidades, &c. Gustavo Bueno (2016, 29) denomina estromas (tejidos, tapices) a los contenidos del mundo perceptibles por los animales y, por tanto, recortados a una escala zootrópica. En el caso de los hombres, los estromas son las configuraciones de las que se compone el mundo antrópico (M_i), pero que no agotan la realidad (M). Los estromas son, a un tiempo, ontológicos e históricos. Nosotros vemos las mismas estrellas que veía Platón, pero ahora no podemos abstraer que están reorganizadas en galaxias; y ello a pesar de que la reorganización del Cosmos en galaxias se basó en placas fotográficas que sólo cubrían una región muy pequeña del espectro electromagnético, la región del visible, y hoy sabemos que el aspecto de las galaxias en otras longitudes de onda no se parece en nada. La percepción del mundo está mediada por la historia de las técnicas y de las ciencias, en tanto modos del hacer humano que ensanchan el mundo antrópico mediante la continua adición de nuevos estromas y la reinterpretación o la disolución de los heredados. «Ni realismo ingenuo ni idealismo, sino *hiperrealismo* que concibe un mundo en torno en constante reorganización práctica» (Camprubí: 2016, 36). Es así que la ontología especial del materialismo filosófico se define, al igual que la ontología histórica propuesta por Hacking

(2002), por concebir unas esencias no esencialistas (megáricas) sino procesuales (evolutivas), a fin de recalcar la falta de sustancialidad metafísica de lo real. Los estromas, es decir, los tejidos o tapices que recubren el mundo, son reales pero cambiantes.

3. Como contraprueba de la escala antrópica en que permanece la cosmología y que arrumba el mito de un Cosmos independiente podemos aducir que la gran mayoría de analogías a que recurren los cosmólogos tienen, como apunta Luis Carlos Martín Jiménez (2015b), un fundamento *in re* en las técnicas humanas; pero terminan descoyuntadas, sacadas de sus quicios, ya que la comparación entre una máquina u otro artefacto humano y el Cosmos como un todo no resiste una analogía de proporcionalidad (porque las semejanzas son estiradas *ad infinitum*) ni una analogía de atribución (porque el primer analogado queda demasiado lejos).

Las técnicas mecánicas, que operan con máquinas dotadas de ejes y ruedas que presentan movimiento, condujeron al desarrollo de la mecánica celeste y de la analogía cósmica que imagina una esfera celeste y que, desbordando el contexto determinante originario, concibe los cielos como un mecanismo perfecto de relojería (así, la cosmología laplaciana). De hecho, la audaz representación de los planetas como cuerpos que giran en torno al Sol –punto de partida de todas las representaciones astronómicas– fue el resultado de la proyección a los cielos de la imagen tecnológica de la rueda de un carro, de la llanta claveteada que gira en torno al eje. Por su parte, las técnicas metalúrgicas, basadas en operaciones con el fuego dentro de hornos, condujeron a la termodinámica, la máquina de vapor y los hornos termonucleares de fisión y fusión, cuya imagen se proyectará en el interior de las estrellas y, aún más, se totalizará al concebir el Universo como un gran horno (así nos lo recuerdan los debates decimonónicos de los energetistas con respecto a la muerte térmica del Universo o, ya en el siglo XX, la visión del Big Bang como el encendido del horno primordial). Las técnicas relacionadas con la luz, la electricidad y el magnetismo, basadas en operaciones de orientación e iluminación, llevaron a la óptica, el electromagnetismo y, más allá, la física atómica, donde el conocimiento se logra mediante la destrucción de partículas en grandes colisionadores, de modo que la analogía cósmica proveniente de estas técnicas humanas ha de ver con la

búsqueda de una materia prima –los quarks, las cuerdas, las branas– a la manera de los presocráticos o de los gnósticos (es innegable que los cosmólogos emplean términos de gran solera metafísica –como hylem o quintaesencia– y que el modelo estándar, con sus partículas y antipartículas, se asemeja en su estructura a la teoría gnóstica de los eones). Finalmente, las técnicas gráficas, relacionadas con el trazado de grafos en un plano, condujeron a la escritura, las matemáticas y, en el límite, cuando se pierde de vista el papel o la pizarra de partida, la concepción del Universo como un libro escrito en caracteres matemáticos. Para manejarnos con la realidad empleamos analogías y esquemas operatorios familiares, pero reconocer su importancia no es incompatible con criticarlos allá donde su justificación se convierta en metafísica o meramente mitológica, como cuando se aplican al mundo por entero.

Capítulo 24
El fundamentalismo científico

1. La contrapartida del monismo ontológico asociado al mito del Cosmos es el monismo gnoseológico vinculado al fundamentalismo científico, es decir, la idea de que todas las ciencias terminarán armonizándose unas con otras en una ciencia unificada. La unidad del mundo y la unidad de la ciencia no son sino las dos caras de una misma moneda.

2. El fundamentalismo científico, tal y como lo entendemos desde las coordenadas del materialismo filosófico (Bueno: 1995, 104 y ss.; 2007, cap. 8), es un ingrediente ideológico frecuente en la filosofía espontánea de los científicos de nuestro tiempo. Pese a que el fundamentalismo original, por así decirlo, es el fundamentalismo religioso, hay que advertir que este último puede reinterpretarse como una suerte de fundamentalismo científico con respecto a la teología dogmática y la teoría de la ciencia de Aristóteles, inspirada por la geometría griega, pero de la que la ciencia teológica se sirvió (se trataría de salvar, no ya los axiomas de Euclides, sino los principios teológicos que permiten deducir el resto de verdades de fe). El fundamentalismo científico puede funcionar, por tanto, como primer analogado del resto de fundamentalismos (Bueno: 2015).

A día de hoy, el fundamentalismo científico se caracteriza por un exagerado monismo gnoseológico y ontológico. La gran mayoría de científicos creen en la posibilidad de una ciencia unificada (monismo

gnoseológico), despreciando el hecho de que no existe la Ciencia sino las ciencias; al tiempo que subrayan que en ciencia no cabe el *ignorabimus*, que el conocimiento científico puede desterrarlo definitivamente y abarcar la realidad al completo, porque ésta no presenta fracturas (monismo ontológico), aun cuando se subraye que este *ignorabimus* no tiene por qué ser consecuencia de limitaciones externas –metafísicas o teológicas– sino internas, de la discontinuidad manifiesta entre unos círculos o cierres categoriales y otros.

Desde la teoría del cierre categorial se realiza una crítica demoledora del fundamentalismo científico, de esa ideología espontánea de nuestro presente que sostiene que existe algo así como una visión científica del mundo que nos desvela de una vez por todas cómo es la Naturaleza. Pero la ciencia no tiene ni puede tener la última palabra, desde el momento en que se reconoce que no hay una única ciencia. No existe la Ciencia (así, con mayúscula y en singular) más que aureolarmente. Existen las ciencias. El reconocimiento de la pluralidad de las ciencias (en conexión con la pluralidad de las categorías, a partir de las cuales se determina nuestro mundo) significa, por de pronto, que no hay ninguna ciencia que agote la realidad al completo y que su recinto categorial queda abierto a desarrollos futuros no predecibles.[70]

La realidad no se agota en una única ciencia o categoría, sino que presenta discontinuidades, fracturas. Por ejemplo: es evidente que si extraemos una muestra de tejidos de un organismo, estos se componen de células, que a su vez se componen de átomos, que a su vez lo hacen de protones, neutrones y electrones, y así hasta llegar a los quarks… pero, ¿cómo reconstruir el individuo, con su cuerpo y su morfología, a partir únicamente de las partículas elementales? ¿Cómo

70 Una crítica a la unidad de las ciencias compartida parcialmente por Shapere (1984) y totalmente por Hacking (1997) y Cartwright (1999), que incluso llega a emplear el término «fundamentalismo». Estos dos filósofos de la ciencia se nos aparecen muy próximos a la defensa de un pluralismo opuesto al esencialismo, al reduccionismo y al monismo epistemológico que mantiene que existe un único método científico válido. El materialismo filosófico consiste, según esto, en un pluralismo discontinuista (porque la pluralidad de las ciencias no es una contingencia gnoseológica sino un insalvable ontológico), que defendería una suerte de *docta ignorancia* frente a cosmólogos, como Stephen Hawking, que afirman que estamos llegando al final en nuestra búsqueda de las leyes últimas de la Naturaleza (Bueno: 2016, 202 y 310). Por suerte, otros cosmólogos, como George Ellis, critican el fundamentalismo científico de sus colegas, capaces de explicar la realidad a partir únicamente de los datos derivados de telescopios o colisionadores de partículas, como si la única ciencia fuese la física (Smeenk & Ellis: 2017, §5.2).

explicar las leyes evolutivas que gobiernan la selección de las especies o las leyes etológicas relativas a la conducta de los animales a partir solamente de los genes o las neuronas? ¿Acaso, a nuestra escala, se calcula la trayectoria de una bola de cañón aplicando la mecánica cuántica en lugar de la mecánica clásica? Aún más: se afirmará que la política puede reducirse a la economía, la economía a la sociología, la sociología a la psicología, la psicología a la biología, la biología a la química, la química a la física y la física a una única teoría, la teoría del todo (TOE); pero, ¿estará esa teoría en condiciones de explicar el decurso histórico del Imperio romano o de la China del siglo XXI? Pese al papel constitutivo de las ciencias en el hacer y deshacerse del mundo, éstas no arrojan una visión científica global ni agotan eso tan oscuro y confuso que llamamos la realidad. La topología de las categorías científicas no es lisa, armónica, sino que hay solapamientos, pliegues, anomalías, y precisamente las ideas filosóficas aparecen en la intersección entre estas categorías.

3. De modo que la Ciencia no puede conocer el Cosmos, no sólo porque no existe el Cosmos (como hemos visto) sino porque tampoco existe la Ciencia. Esta Ciencia que se busca y tendría por objeto al Todo no es sino una refluencia de la omnisciencia divina. Como consecuencia de la «inversión teológica»[71] ocurrida entre los siglos XVI y XVIII, la ciencia moderna heredó los atributos del Dios omnisciente de la teología tradicional.

En efecto, cuentan que cuando Laplace –a nuestro juicio, según hemos mantenido en 19.1, el primer cosmólogo *sensu stricto*– le entregó a Napoleón un ejemplar de los primeros tomos de la *Mecánica Celeste*, éste le comentó: «*Monsieur* Laplace, me dicen que habéis escrito este extenso tratado sobre el Sistema del Mundo sin haber mencionado a su Creador, ¿es cierto?». Pregunta a la que Laplace contestó: «*Sire*, no he tenido necesidad de esa hipótesis».

Napoleón sabía perfectamente que Newton había apelado a Dios para explicar tanto la estabilidad como el origen del Sistema del Mundo, y le

71 La inversión teológica es la transmutación de las conexiones de los conceptos teológicos, en virtud de la cual dejan de servir de medio para hablar de Dios y se convierten en aquello por medio de lo cual se habla del Mundo. Tras la inversión teológica, Dios deja de ser aquello sobre lo que se habla para comenzar a ser aquello desde lo que se habla. La inversión teológica hace de Dios un punto de vista, el punto de vista desde el cual los científicos contemplan el propio orden del Mundo.

extrañaba que Laplace no lo citara ni una sola vez a lo largo de la *Mecánica Celeste*. Era algo sorprendente. Laplace había intentado evitar la conclusión entresacada por Newton, para espanto de Leibniz, de que la providencia divina tenía que intervenir cada cierto tiempo para restablecer el orden en el Universo, y había logrado explicar las anomalías orbitales de Júpiter, Saturno y la Luna que tanto preocuparon a Newton como meras perturbaciones que sólo dependían de la ley de gravitación y tendían a compensarse en el transcurso del tiempo. Ahora bien, para demostrar la estabilidad del Sistema del Mundo sin recurrir a Dios hacía uso de que todos los planetas giraban en órbitas casi circulares, en el mismo sentido y en el mismo plano.

Quedaba, por tanto, un fleco pendiente. Explicar esta misteriosa disposición. Newton, por descontado, apelaba al Creador. En los *Principia* introdujo un escolio final en el que dejó constancia de este singular fenómeno: «Esa admirable disposición del Sol, los planetas y los cometas no puede ser sino obra de un Ser inteligente y omnipotente». Y en la *Óptica* reprodujo la misma idea: «el ciego destino nunca podría haber hecho que todos los planetas se moviesen en una y la misma dirección». Pero, mediante la hipótesis cosmogónica de la nebulosa primitiva, Laplace logró explicar el origen del Sistema Solar y, sobre todo, su buen orden (el giro común en órbitas aproximadamente circulares y coplanarias) sin recurrir a la Divinidad. Jubiló al Creador en su papel de mantenedor de la armonía del Universo, agradeciéndole los servicios prestados. Laplace había demostrado que el concurso divino no era necesario para explicar la estabilidad ni el origen del Sistema del Mundo.

La fe del ateo Laplace era cabalmente el fundamentalismo científico. (De hecho, el rótulo «científico» aparece en francés por vez primera en un panfleto escrito por Marat durante el convulso periodo revolucionario.[72]) Todo, arriba y abajo, en los cielos y en la Tierra, obedecía a un pequeño número de leyes naturales que se cumplían invariablemente. «Todo –escribe en la *Exposición del Sistema del Mundo*– deriva de ellas tan necesariamente como el regreso de las estaciones». En el campo de la mecánica celeste el sueño de una Inteligencia Suprema se había hecho

72 En inglés aparece con William Whewell, que lo introdujo en *La filosofía de las ciencias inductivas* (1840) para referirse al cultivador de la ciencia en general. Y, cosa poco sabida, en español ya aparece en 1726, según lo recoge el primer Diccionario de Autoridades de la RAE.

realidad: «El geómetra abraza hoy en sus fórmulas el conjunto del Sistema Solar y sus sucesivas variaciones [...] abarca en sus fórmulas de una sola mirada tanto los estados pasados como futuros del sistema», relata en la *Exposición*. Lo que me interesa poner de relieve aquí es que para Laplace, según lo expresó en el *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*, el espíritu humano brindaba un atisbo de la Inteligencia Suprema en la perfección a que había sabido llevar la astronomía y la mecánica celeste. Dicho de otro modo: estamos ante el comienzo simbólico del desplazamiento de Dios por la Ciencia, una nueva ciencia que, sin embargo, retuvo el atributo absoluto de la ciencia divina.[73]

Si antaño la teología natural afirmaba «un Mundo, un Libro, un Dios», hogaño la ciencia natural afirma «un Cosmos, una Verdad, una Ciencia». No deja de ser sintomático que la repetida expresión «leyes naturales» o «leyes fundamentales de la Naturaleza» no sea sino otra metáfora de raigambre teológica, porque ¿quién se supone que dicta esas leyes? ¡Un Dios legislador! Es, de nuevo, ese Dios antropomórfico y matemático, concebido como sumo arquitecto del Universo. Así, en el *Libro de la Sabiduría de Salomón* (Sab 11, 20) se dice que «Dios todo lo dispuso con medida, número y peso», y más de dos milenios después el lema de Adolphe Quetelet sería *Mundum numeri regunt*. La ciencia moderna heredó muchas de las características predicables de Dios, arrastrando la idea de un Logos –de una Inteligencia– fundante de la Naturaleza, tal como se relata en el Evangelio de San Juan y acepta la teología judeocristiana. Pues si la Naturaleza en su conjunto procede de una Inteligencia es lógico esperar de ella que se trate de un Cosmos, esto es, de un objeto racional, accesible al entendimiento de los hombres.

Pero el Libro de la Naturaleza no está escrito en caracteres matemáticos (como Dios no existe, difícilmente ha podido escribir nada), sino que son los propios científicos los que escriben algunas de sus hojas con caracteres matemáticos, generando con ello, más que un libro acabado y completo, un palimpsesto, donde unas veces se encuentran páginas borradas o raspadas sobre las que se ha reescrito y otras veces faltan páginas o están directamente en blanco.

73 En el *Tractatus* (6.372), Wittgenstein I escribió: «Los modernos confían en las leyes naturales como en algo inviolable, exactamente como los antiguos confiaban en Dios y el Destino».



Figura 13: *Dios, ataviado con un compás, como geómetra o arquitecto que, según el primer versículo del Antiguo Testamento, crea en el comienzo Cielo y Tierra (ilustración del* Codex Vindobonensis*, ca. 1250)*

Conclusión
La vuelta del revés del mapamundi

Vi que no hay Naturaleza,
que la Naturaleza no existe,
que hay montes, valles, llanuras,
que hay árboles, flores, yerbas,
que hay ríos y piedras,
pero que no hay un todo al que eso pertenezca,
que un conjunto real y verdadero
es una enfermedad de nuestras ideas.
La Naturaleza es partes sin un todo.

Fernando Pessoa (1914)

El círculo está completo. En la Parte I regresamos del estrato científico al estrato filosófico. Tras explicar las cuatro ideas generalísimas de ciencia accesibles en nuestro presente, ilustrándolas con su aplicación a las matemáticas y a la física, nos decantamos por una muy concreta: la idea de ciencia desde la teoría del cierre categorial de Gustavo Bueno. A continuación, en la Parte II, progresamos del estrato filosófico al estrato científico, ensayando una filosofía materialista de la cosmología. Habrá quien crea, disgustado por la filosofía que orienta esta obra, haber viajado a los confines del Cosmos al leer palabras como agujero negro, espacio-tiempo, Big Bang, &c. Y habrá quien crea, por el contrario, que simplemente ha recorrido sin salir del planeta las costuras que entretejen las fórmulas, los aparatos y los objetos científicos.

La teoría del cierre no se echa arena en los ojos y el abecé de su punto de vista descansa en reconocer la realidad de las construcciones científicas apreciando la significación de la práctica en ciencia, pero sabiendo, al mismo tiempo, que el *ordo idearum* no tiene por qué coincidir con el *ordo rerum*. El poder de la ciencia es tangible y, para decirlo telegráficamente, está más en los aparatos que en los libros. En consecuencia, no creamos indiscriminadamente cualquier afirmación proveniente de la cosmología contemporánea, pero aceptemos aquellas que pueden usarse de modo efectivo para realizar nuevas predicciones y, especialmente, para intervenir o producir fenómenos de una forma que sea parcialmente independiente de las propias teorías cosmológicas.

La cosmología es, según dijo Karl Popper, «la más filosófica de las ciencias»; porque, como vimos en los últimos capítulos, arrastra una concepción de la realidad como un Cosmos ordenado y, como correlato, una concepción armónica de la Ciencia, cuyo uso en singular parece sobreentender la unificación de todas las ciencias particulares con el afán de ofrecer una visión general de la realidad y dominar, por fin, las claves últimas del Universo. Pero el materialismo filosófico, con su defensa de un pluralismo ontológico y gnoseológico, procede a desguazar el Cosmos y arrumba la posibilidad de una ciencia cosmológica, de una omnisciencia, entre otras razones porque carece de sentido totalizar globalmente la realidad.

No queremos poner el punto final sin mostrar el envés de la trama, es decir, sin volver de la gnoseología a la ontología. El Universo o el mundo que envuelve a los hombres (y a los animales) no tiene una morfología que pueda considerarse como inmutable e independiente de quienes forman parte de él. El Universo no es una entidad estática poblada por unas hormigas pensantes que, arrastrándose por las hendiduras de un pequeño planeta, descubren gradualmente sus rasgos sin afectarlos de ninguna forma. Es una entidad dinámica y con muchas caras que se ve afectada por la actividad de sus exploradores. El mundo es el resultado de la organización que algunas de sus partes (por ejemplo, los hombres) establecen y está en función del radio de acción que tales partes alcanzan en cada momento. El mundo no es, por tanto, la *omnitudo rerum*, la totalidad de las cosas; sólo la totalidad de las cosas que nos son accesibles en función de nuestro poder

de conformación de las mismas. El mundo no es, en resumen, algo previo al «estado del mundo» que se refleja en el mapamundi. Cuando los cosmólogos o los científicos en general filosofan espontáneamente suelen apuntar con el dedo para reafirmar su punto de vista: «El mundo o la Naturaleza está ahí fuera, filósofo». Pero el dedo de ese científico suele señalar un paisaje donde se da ya una superposición de objetos, aparatos, transformaciones y sujetos operatorios. Es en este punto donde entra en juego el papel reservado por el materialismo filosófico para el ego trascendental, lo que da una respuesta consistente aunque insospechada a la pregunta por el puesto del Hombre en el Cosmos.

El Hombre, el ego trascendental E, constituido dentro del sistema del materialismo filosófico a través de la sucesión de egos particulares institucionalizados en sociedades políticas (Estados e Imperios), es precisamente la «conciencia demiúrgica» de ese mapamundi donde se pretende dibujar el Cosmos, el Universo M_i (el mundo dado a nuestra escala perceptiva, operatoria e ideológica, el mundo que vemos y tocamos, en el que actuamos y pensamos, el formado por los tres géneros de materialidad ontológico-especial, por las materialidades físicas M_1, psicológicas M_2 e eidético-abstractas M_3). El mundo no se puede ver sin un ego que lo represente en un mapa que sirve como hoja operatoria de ruta, pues los mapas cósmicos –las cosmovisiones– al igual que los mapas geográficos no poseen únicamente un interés teórico sino que tienen una función práctica: guiarnos.

El ego trascendental es la «conciencia demiúrgica» del mapamundi porque, aparte del hacedor del mapa, es el instrumento para el *regressus* a la realidad más amplia que cabe conceptuar desde el materialismo filosófico, a la materia ontológico-general M (una pluralidad discontinua infinita, inimaginable bajo el concepto de unidad). A esta idea límite, crítica y negativa no se llega por una hipóstasis (como al Ser de los antiguos o al Dios de la teología) sino por un razonamiento dialéctico frente al monismo metafísico o teológico (que cree en un Cosmos coherente, dotado de una unidad sustancial o de un orden providencial). Y en el *progressus* nos alerta de que ese mapamundi no es absoluto sino relativo a nuestra condición corporal (M denota también a las realidades que se dan al margen de los hombres, porque la realidad no tiene por qué agotarse en las determinaciones que de

ella conocemos, su textura no ha de ser trasparente). Con otras palabras: los continentes que se dibujan en el mapamundi permanecen siempre encapsulados dentro del Universo antrópico o zootrópico M_i (un mundo, como va dicho, siempre cambiante, cuyas dimensiones varían históricamente de una sociedad a otra); porque provienen del filtrado de la materia M llevado a cabo por el ego E (sobrevalorando, por ejemplo, los contenidos segundogenéricos M_2).

Ahora bien, esto no debe hacernos caer en el escepticismo extremado, porque no se trata de construir un mapamundi absoluto sino de construir uno que al compararlo –diaméricamente, no metaméricamente– con otros mapamundis accesibles en nuestro presente sea más potente, sea capaz de envolverlos. La imposibilidad de decidir si un determinado mapa del mundo, entre los muchos incompatibles entre sí que hay en cada presente histórico, es verdadero mediante comparación directa con la realidad, como si existiese una realidad pura, absoluta, al margen de cualquier filtro antrópico, no debe hacernos caer en el nihilismo o en el relativismo, después de haber abandonado la metafísica y el dogmatismo. Cabe una vía intermedia: comparar los diversos mapas accesibles entre sí. Como si dijéramos, no se trata de comparar a Einstein con Dios, sino con Newton, Galileo o Aristóteles. El mapamundi de Einstein puede interpretar y explicar el mapamundi de Newton, pero este no podría hacer lo propio con el de Einstein, como no podría comprender cómo funciona un radiotelescopio o un acelerador de partículas si antes no se lo explican.

La historia de la cartografía ilustra esto que queremos explicar. Consideremos los mapas que trazaron los geógrafos del pasado. Los mapas actuales no sólo incluyen partes que aquellos omitieron, como América, o destierran partes que aquellos insertaron, como la Atlántida, sino que las partes comunes suelen aparecer mejor delimitadas, tanto las costas como las distancias están mejor definidas. Hacemos estos juicios sin creer que alguno de los mapas producidos alguna vez sea completamente exacto, e incluso admitiendo la posibilidad de que los mapas más tardíos puedan ocasionalmente proporcionar una representación menos exacta de algunos rasgos. No tiene sentido postular un mapa que sea exhaustivamente completo y correcto, un atlas ideal, como tampoco tiene sentido el proyecto de una ciencia completa, de una cosmología acabada y perfecta.

Todos los mapamundis han sido, son y serán, inevitablemente, incompletos, pues ninguno puede aclarar todos los misterios de la realidad, de una realidad que rebasa el mundo organizado por los hombres. No obstante, según insistió Gustavo Bueno en su último libro, *El ego trascendental*:

> Será suficiente que [el materialismo filosófico] se crea capaz de levantar un «mapamundi» de esta realidad, orientado más que a fingir que en él se aclaran todos los enigmas del Universo, a representar los lugares del mapa en los cuales los enigmas se delimitan como grietas o como agujeros que rasgan la superficie del propio mapa (Bueno: 2016, 310).

La tarea de la filosofía materialista, concebida como saber sistemático de segundo grado armado con una serie de principios ontológicos y gnoseológicos (la multiplicidad de las ciencias, correlativa del principio de *symploké* o de multiplicidad de las categorías; la función de las ciencias como constructoras de una hiperrealidad; &c.) es, según esto, criticar todos los fundamentalismos (científicos, religiosos, políticos) que quieren ocupar el puesto que le corresponde a la perspectiva filosófica. Sólo desde ella podrán entenderse de un modo cabal, no metafísico, ciertos dualismos, como el binomio Ciencia y Cosmos con el que se iniciaba esta obra. El resto es silencio.

Referencias bibliográficas

Ackermann, Robert J. (1985): *Data, Instruments and Theory*, Princeton UP.
– (1989): «The New Experimentalism», *British Journal for the Philosophy of Science*, 40, 185-190.
Aleksandrov, A. D.; Kolmogorov, A. N.; Laurentiev, M. A. *et al.* (1994): *La matemática: su contenido, métodos y significado*, 3 vols., Alianza, Madrid.
Álvarez Muñoz, Evaristo (2004): *Filosofía de las ciencias de la tierra. El cierre categorial de la geología*, Pentalfa, Oviedo.
Alvargonzález, David (1996): «El darwinismo visto desde el materialismo filosófico», *El Basilisco*, 20, 3-46.
– (2000): «Análisis gnoseológico de la teoría de juegos», *El Basilisco*, 28, 17-36.
– (2002): «Del relativismo cultural y otros relativismos», *El Catoblepas*, 8, 13.
– (2017): «La idea de revolución científica», *Ábaco*, 93 (ejemplar dedicado a *El materialismo filosófico*), 60-66.
Arana, Juan; Trujillo, Ignacio; Soler, Francisco; López-Corredoira, Martín & Sanromá, Manuel (2012): *La cosmología en el siglo XXI: entre la física y la cosmología*, URV, Tarragona.
Arp, Halton (1992): *Controversias sobre las distancias cósmicas y los cuásares*, Tusquets, Barcelona.
Assis, A. K. T.; Neves, M. C. D. & Soares, D. S. L. (2009): «Hubble's Cosmology: From a Finite Expanding Universe to a Static Endless Universe», en *2nd Crisis in Cosmology Conference*, ASP Conference Series, Vol. 413, 255-268.
Bacon, Francis (2002): *Novum Organum*, Ediciones Folio, Barcelona.
Barnes, Barry (1987): *Sobre ciencia*, Labor, Barcelona.
Barnes, Barry & Bloor, David (1982): «Relativism, racionalism and the sociology of knowledge», en M. Hollis & S. Lukes (eds.), *Rationality and relativism*, Oxford, Blackwell, 21-47. Traducción española en Marta González *et al.* (1996, 27-48).

Barrow, John D. (1994): *Teorías del Todo*, Crítica, Barcelona.
Battaner López, Eduardo (2013): *Hubble. La expansión del Universo*, RBA, Barcelona.
Benacerraf, Paul (1965): «What numbers could not be», *Phil. Review*, LXXIV, 47-73.
– (1973): «Mathematical truth», *Journal of Philosophy*, 70, 661-679.
Benacerraf, Paul & Putnam, Hilary (eds.) (1964): *Philosophy of Mathematics: Selected Readings*, Prentice-Hall, Nueva Jersey.
Bernays, Paul (1934): «Platonism in Mathematics», recogido en Benacerraf & Putnam (1964, 274-286).
Bigelow, John (1988): *The Reality of Numbers: A Physicalist's Philosophy of Mathematics*, Oxford UP.
Binnig, Gerd & Rohrer, Heinrich (1986): «Scanning tunneling microscopy – From birth to adolescence» (*Nobel Lecture, December 8, 1986*), http://nobelprizes.org/nobel_prizes/laureates/physics/1986.
Birch, John Auping S. J. (2016): *El origen y la evolución del Universo. Física, metafísica, ciencia ficción y (a)teología en la cosmología antigua y moderna*, Universidad Iberoamericana.
Bloor, David (1998): *Conocimiento e imaginario social*, Gedisa, Barcelona.
Bohr, Niels (1964): *Física Atómica y Conocimiento Humano*, Aguilar, Madrid.
– (1988): *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, Alianza, Madrid.
Bourdieu, Paul (2003): *El oficio de científico. Ciencia de la ciencia y reflexividad*, Anagrama, Barcelona.
Borovói, A. (1985): *Cómo se registran las partículas*, MIR, URSS.
Boyer, Carl (1986): *Historia de la Matemática*, Alianza, Madrid.
Brouwer, L. E. J. (1912): «Intuitionism and Formalism», recogido en Benacerraf & Putnam (1964, 66-77).
Bueno, Gustavo (1970): *El papel de la filosofía en el conjunto del saber*, Ciencia Nueva, Madrid.
– (1971): *Etnología y utopía*, Azanca, Valencia.
– (1972): *Ensayos materialistas*, Taurus, Madrid.
– (1976): *Idea de ciencia desde la teoría del cierre categorial*, Universidad Menéndez Pelayo, Santander.
– (1978): «Conceptos Conjugados», *El Basilisco*, 1, 88-92.
– (1979a): «Operaciones autoformantes y heteroformantes (I)», *El Basilisco*, 7, 16-39.
– (1979b): «Operaciones autoformantes y heteroformantes (II)», *El Basilisco*, 8, 4-25.
– (1980): «Imagen, símbolo, realidad», *El Basilisco*, 9, 57-74.
– (1982): «El cierre categorial aplicado a las ciencias físico-químicas», en *Actas del I Congreso de Teoría y Metodología de las Ciencias*, Pentalfa, Oviedo, 101-175.
– (1985): «Prólogo a *El racionalismo y los problemas del método* de Javier de Lorenzo», Cincel, Madrid.
– (1989): «La teoría de la esfera y el descubrimiento de América», *El Basilisco*, 2ª época, 1, 3-32.
– (1990): *Nosotros y ellos*, Pentalfa, Oviedo.
– (1992): *Teoría del cierre categorial*, 5 tomos, Pentalfa, Oviedo.

– (1993): «Materialismo filosófico como materialismo metodológico», prólogo a *Los dioses olvidados* de Alfonso Fernández Tresguerres, Pentalfa, Oviedo, 7-34.
– (1995): *¿Qué es la ciencia?*, Pentalfa, Oviedo.
– (1996a): *La función actual de la ciencia*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria.
– (1996b): *El animal divino*, 2ª edición, Pentalfa, Oviedo.
– (1996c): *El sentido de la vida*, Pentalfa, Oviedo.
– (1998): «Los límites de la evolución en el ámbito de la *Scala Naturae*», en *Evolucionismo y Racionalismo*, Universidad de Zaragoza, 49-87.
– (1999): «Predicables de la identidad», *El Basilisco*, 25, 3-30.
– (2000): «Las matemáticas como disciplina científica», *Ábaco*, 25/26, 48-71.
– (2002): «Etnocentrismo cultural, relativismo cultural y pluralismo cultural», *El Catoblepas*, 3, 2.
– (2004a): *El Mito de la Cultura*, 7ª edición, Prensa Ibérica, Barcelona.
– (2004b): «Confrontación de doce tesis características del sistema del *Idealismo trascendental* con las correspondientes tesis del *Materialismo filosófico*», *El Basilisco*, 35, 3-40.
– (2005): «Ensayo de una teoría antropológica de las instituciones», *El Basilisco*, 37, 3-52.
– (2007): *La fe del ateo*, Temas de Hoy, Madrid.
– (2009a): «Poemas y teoremas», *El Catoblepas*, 88, 2.
– (2009b): «Poesía y verdad», *El Catoblepas*, 89, 2.
– (2009c): «El puesto del Ego trascendental en el materialismo filosófico», *El Basilisco*, 40, 1-104.
– (2012): «El mapa como institución de lo imposible», *El Catoblepas*, 126, 2.
– (2015): «Fundamentalismo y fundamentalismos», *El Basilisco*, 44, 3-60.
– (2016): *El Ego trascendental*, Pentalfa, Oviedo.
– (2017): *Reformulación del materialismo filosófico y la idea de Universo*, apuntes tomados por Salvador Centeno de las lecciones impartidas por Gustavo Bueno entre 2007 y 2010, https://sites.google.com/site/obraabiertadegustavobueno/doxografia.
Bunge, Mario (1978): *Filosofía de la física*, Ariel, Barcelona.
Butterfield, Jeremy (2014): «On Under-determination in Cosmology», *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 46, 57-69.
Caba, Antonio (1997): «Presencia de Carnap en el nominalismo de Hartry Field», *Constrastes*, 2, 53-69.
– (1998): «Balance de la filosofía de la matemática en el siglo XX», *Contrastes*, Suplemento 3, 271-305.
Camprubí, Lino (2005): «Experimentalismo y Gnoseología, a propósito de un libro de Galison», *El Catoblepas*, 42, 24.
– (2006): «Diseño Inteligente y estudios anglosajones de la ciencia», *El Catoblepas*, 53, 11.
– (2014): *Engineers and the Making of the Francoist Regime*, The MIT Press, Massachusetts.
– (2016): «Percepción, ciencia e historia», *Studia Iberica et Americana*, 3, 21-44.
– (2017): *Los ingenieros de Franco*, Crítica, Barcelona.
Carnap, Rudolf (1931): «The logicist foundations of mathematics», recogido en Benacerraf & Putnam (1964, 31-41).

Cartwright, Nancy (1983): *How the Laws of the Physics lie*, Clarendon Press, Oxford.
– (1999): *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*, Cambridge UP.
Cepa, Jordi (2007): *Cosmología física*, Akal, Madrid.
Cockcroft, John D. (1951): «Experiments on the interaction of high-speed nucleons with atomic nuclei» (*Nobel Lecture, December 11, 1951*), http://nobelprizes.org/nobel_prizes/laureates/physics/1951.
Cohen, I. Bernard (1983): *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*, Alianza, Madrid.
Collins, Harry & Pinch, Trevor (1996): *El gólem. Lo que todos deberíamos saber acerca de la ciencia*, Crítica, Barcelona.
Colyvan, Mark (2001): *The indispensability of mathematics*, Oxford UP.
Crombie, Alistair C. (1993): *Estilos del pensamiento científico a comienzos de la Europa moderna*, Universidad de Valencia.
Dalla Chiara, M. L. & Toraldo Di Francia, G. (2001): *Confines: Introducción a la filosofía de la ciencia*, Crítica, Barcelona.
Davis, P. J. & Hersh, R. (1982): *Experiencia matemática*, Labor, Barcelona.
Diéguez, Antonio (1998): *Realismo científico. Una introducción al debate actual en la filosofía de la ciencia*, Universidad de Málaga.
– (2001): «Las explicaciones del éxito de la ciencia. Un análisis comparativo», *Thémata*, 27, 15-29.
– (2005): *Filosofía de la ciencia*, Biblioteca Nueva, Madrid.
– (2010): «Kitcher's modest realism: The reconceptualization of scientific objectivity», en W. J. González (ed.), *Scientific Realism and Democratic Society: The Philosophy of Philip Kitcher*, Rodopi, Ámsterdam, 141-169.
Dou, Alberto (1974): *Fundamentos de la matemática*, Labor, Barcelona.
Duhem, Pierre (2003): *La teoría física. Su objeto y estructura*, Herder, Barcelona.
Earman, John & Mosterín, Jesús (1999): «A Critical Look at Inflationary Cosmology», *Philosophy of Science*, 66, 1-49.
Echeverría Ezponda, Javier (1999): *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*, Cátedra, Madrid.
Eco, Umberto (1999): *Kant y el ornitorrinco*, Lumen, Barcelona.
Einstein, Albert (1981): *Mis Ideas y Opiniones*, A. Boch, Barcelona.
Ellis, George F. R. (2007): «Issues in the philosophy of cosmology», en J. Butterfield & J. Earman (eds.), *Philosophy of physics*, North-Holland, Ámsterdam, 1183-1286.
– (2014): «On the philosophy of cosmology», *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 46, 5-23.
Estany, Anna (2005): *Filosofía de las ciencias naturales, sociales y matemáticas*, Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía, CSIC, Madrid.
Ewald, William Bragg (ed.) (1996): *From Kant to Hilbert. A Source Book in the Foundations of Mathematics*, 2 volúmenes, Oxford UP.
Falkenburg, Brigitte (2000): «How to observe quarks», en E. Agazzi & M. Pauri (eds.), *The Reality of the Unobservable*, Kluwer AP, 329-341.
Fernández, Telmo & Montesinos, Benjamín (2007): *El desafío del Universo. De Tales de Mileto a la energía oscura*, Espasa Calpe, Madrid.
Ferreirós Domínguez, José (1991): *El nacimiento de la teoría de conjuntos, 1854-1908*, Universidad Autónoma de Madrid.

– (1999): «Matemáticas y platonismo(s)», *Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española*, 2/2, 446-473.

– (2005): «Certezas e hipótesis: perspectivas históricas y naturalistas sobre la matemática», en Estany (2005, 45-74).

Ferreirós, José & Ordóñez, Javier (2002): «Hacia una filosofía de la experimentación», *Crítica*, 102, 47-86.

Ferrero, Miguel (2000): «Física cuántica y objetividad», *Arbor*, 659/660, 459-473.

Ferrero, Miguel; Salgado, David & Sánchez-Gómez, José L. (2007): «Física cuántica y orden racional», *Revista Iberoamericana de Física*, 3/1, 11-16.

Ferrero, Miguel & Santos, Emilio (1996): «Realismo local y mecánica cuántica», en *Fundamentos de Física Cuántica*, Editorial Complutense, Madrid, 9-42.

Feyerabend, Paul (1981): *Tratado contra el método*, Tecnos, Madrid.

Field, Hartry (1973): «Theory Change and the Indeterminacy of Reference», *The Journal of Philosophy*, 70, 462-481.

Fine, Arthur (1986): *The Shaky Game. Einstein Realism and the Quantum Theory*, Chicago UP.

Forman, Paul (1971): «Weimar Culture, Causality, and Quantum Theory, 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment», *Historical Studies in the Physical Sciences*, 3, 1-115.

– (1984): *Cultura en Weimar, causalidad y teoría cuántica 1918-1927*, Alianza, Madrid, 1984.

Franklin, Allan (1986): *The Neglect of Experiment*, Cambridge UP.

– (1989): «The Epistemology of Experiment», en D. Gooding, T. Pinch y S. Shaffer (eds.), *The Uses of Experiment*, Cambridge UP, 437-460.

– (1997): «Are There Really Electrons? Experiment and Reality», *Physics Today*, 50/10, 26-33.

– (2002): «Física y experimentación», *Theoria*, XVII/44, 221-242.

Franklin, Allan & Perovic, Slobodan (2015): «Experiment in Physics», *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/entries/physics-experiment/>.

Frege, Gottlob (1996): *Escritos filosóficos*, Crítica, Barcelona.

French, Steven (2003): «A Model-Theoretic Account of Scientific Representation (Or, I Don't Know Much About Art… But I Know It Involves Isomorphism)», *Philosophy of Science*, 70, 1472-1483.

French, S. & Saatsi, J. (2006): «Realism about Structure: The Semantic View and Nonlinguistic Representations», *Philosophy of Science*, 73, 548-559.

Friedman, Michael (1991): *Fundamentos de las teorías del espacio-tiempo*, Alianza, Madrid.

Fuentes Ortega, Juan Bautista (1992): «La Psicología: ¿una anomalía para la teoría del cierre categorial?», *Revista Meta*, 183-206.

Gale, George (2005): «Dingle and de Sitter Against the Metaphysicians, or Two Ways to Keep Modern Cosmology Physical», en *The Universe of General Relativity*, The Center for Einstein Studies, Boston, 157-174.

– (2015): «Cosmology: Methodological Debates in the 1930s and 1940s», *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/cosmology-30s/>.

Galison, Peter (1987): *How the experiments end*, Chicago UP.
– (1997): *Image and Logic: A material culture of microphysics*, Chicago UP.
– (2005): *Relojes de Einstein, mapas de Poincaré. Los imperios del tiempo*, Crítica, Barcelona.
Gamow, George (1963): *La creación del Universo*, Espasa-Calpe, Madrid.
Giere, Ronald N. (1988): *Explaining Science. A cognitive approach*, University of Chicago Press.
– (2002): «How Models are Used to Represent Reality», *Philosophy of Science*, 71/5, 742-752.
Gillies, D. (ed.) (1992): *Revolutions in mathematics*, Clarendon Press, Oxford.
González, M. *et al.* (eds.) (1997): *Ciencia, tecnología y sociedad. Lecturas seleccionadas*, Ariel, Barcelona.
González Hevia, Leoncio (2007): «El mito de la Naturaleza», *El Catoblepas*, 61, 10.
González Recio, José Luis & Rioja, Ana (2007): *Galileo en el infierno. Un diálogo con Paul K. Feyerabend*, Trotta, Madrid.
Grattan-Guinness, Ivor (ed.) (1980): *Del Cálculo a la Teoría de Conjuntos*, Alianza, Madrid.
Guth, Alan & Steinhardt, Paul J. (1984): «El Universo inflacionario», Investigación y Ciencia, 94, 66-79.
Hacking, Ian (1983a): *Representing and Intervening*, Cambridge UP.
– (1983b): «Experimentation and Scientific Realism», *Philosophical Topics*, 13/1, 71-87.
– (1984): «Five Parables», en *Philosophy in History*, Cambridge UP, 117-126.
– (1988a): «The Participant Irrealist at Large in the Laboratory», *British Journal for the Philosophy of Science*, 39, 277-294.
– (1988b): «Philosophers of Experiment», en *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1988-II, 147-156.
– (1989): «Extragalactic Reality: The Case of Gravitational Lensing», *Philosophy of Science*, 56, 555-581.
– (1991): «Artificial Phenomena», *British Journal for the History of Science*, 24, 235-241.
– (1992): «The Self-Vindication of the Laboratory Sciences», in A. Pickering (ed.), *Science as practice and culture*, University of Chicago Press, 29-64.
– (1996): *Representar e Intervenir*, Paidós, Barcelona.
– (1997): «The disunities of sciences», en *The disunity of science*, Stanford UP, 37-74.
– (2001): *¿La construcción social de qué?*, Paidós, Barcelona.
– (2002): *Historical Ontology*, Harvard UP.
– (2009): *Scientific Reason*, NTU Press, Taipei.
– (2011): «The Mathematical Animal», conferencia pronunciada el 10 de marzo de 2011 y disponible en <http://www.youtube.com/watch?v=E8f-5Ipdy5U>.
– (2014): *Why Is There Philosophy of Mathematics?*, Cambridge UP.
Hahn, Hans (1980): *Empiricism, Logic and Mathematics*, Reidel, Londres.
Hardy, G. H. (1967): *A Mathematician's Apology*, Cambridge UP.
Hawking, Stephen (1990): *Historia del tiempo*, Alianza, Madrid.
– (2002): *El Universo en una cáscara de nuez*, Crítica, Barcelona.

Hawking, Stephen & Mlodinow, Leonard (2010): *El gran diseño*, Crítica, Barcelona.
Heyting, Arend (1976): *Introducción al intuicionismo*, Tecnos, Madrid.
Hernández, Pedro J. (2007): *Cosmoλogía. Origen, evolución y destino del Universo*, curso básico en astronomía.net/cosmología
Hidalgo, Alberto (1990): «Estrategias metacientíficas II», *El Basilisco*, 6, 26-48.
Hilbert, David (1925): «On the infinity», recogido en Benacerraf & Putnam (1964, 134-151) y en Van Heijenoort (1967, 367-392).
– (1927): «The foundations of mathematics», recogido en Van Heijenoort (1967, 464-479).
Huerga Melcón, Pablo (1999): *La ciencia en la encrucijada*, Biblioteca Filosofía en Español, Oviedo.
– (2003): *¡Que piensen ellos! Cuestiones sobre materialismo y relativismo*, El Viejo Topo, Barcelona.
Insua, Pedro (2005): «Biología e individuo corpóreo: el problema del "sexto predicable" (1 y 2)», *El Catoblepas*, 41 y 51, 11 y 11.
Iranzo, José Manuel *et. al.* (comp.) (1994): *Sociología de la ciencia y de la tecnología*, CSIC, Madrid.
Iranzo, Valeriano (2000): «Manipulabilidad y entidades inobservables», *Theoria*, XV/30, 131-153.
Kant, Inmanuel (1978): *Crítica de la razón pura*, Alfaguara, Madrid.
Kitcher, Philip (1983): *The Nature of Mathematical Knowledge*, Oxford UP.
– (1993): *The Advancement of Science. Science Without Legend, Objectivity Without Illusions*, Oxford UP, Nueva York.
– (1998): «A Plea for Science Studies», en N. Koertge (ed.), *A House Built on Sand. Exposing Postmodernist Myths about Science*, Oxford UP, Nueva York, 32-56.
– (2001): *Science, Truth, and Democracy*, Oxford UP, Nueva York.
Kline, Morris (1992): *El pensamiento matemático de la Antigüedad a nuestros días*, 3 volúmenes, Alianza, Madrid.
Knorr-Cetina, Karin (1981): *The Manufacture of Knowledge. An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*, Pergamon, Oxford.
– (1983): «The Ethnographic Study of Scientific Work: Towards a Constructivist Interpretation of Science», publicado originalmente en Karin Knorr-Cetina & Michael Mulkay (ed.), *Science Observed*, Londres, Sage, y recogido en Iranzo *et. al.* (1994, 187-204).
Kragh, Helge (1996): *Cosmology and controversy. The historical development of two theories of the universe*, Princeton UP.
– (2006): *Conceptions of Cosmos. From Myths to the Accelerating Universe: A History of Cosmology*, Oxford UP.
– (2007): «The Controversial Universe: A Historical Perspective on the Scientific Status of Cosmology», *Physics and Philosophy*, Issue 2007, 1-14.
– (2012): «"The most philosophically important of all the sciences": Karl Popper and physical cosmology», http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/9062.
– (2014): «Testability and epistemic shifts in modern cosmology», *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 46, 48-56.
– (2015): «The Universe, the Cold War, and Dialectical Materialism», https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1204/1204.1625.pdf

Kuhn, Thomas S. (1993): *La tensión esencial*, FCE, México.

– (2004): *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México.

Ladyman, James (2014): «Structural Realism», *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/spr2014/entries/structural-realism/>.

Lakatos, Imre (1989): *La metodología de los programas de investigación científica*, Alianza, Madrid.

– (1994): *Pruebas y refutaciones*, Alianza, Madrid.

Lakoff, George & Núñez, Rafael, E. (2000): *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*, Basic Books, Nueva York.

Lamo De Espinosa, Emilio (1994): «El relativismo en sociología del conocimiento», *Política y Sociedad*, 14/15, 21-33.

Latour, Bruno (1983): «Give me a Laboratory and I will Raise the World», publicado originalmente en Karin D. Knorr-Cetina & Michael Mulkay (ed.), *Science Observed*, Sage, Londres, y recogido en Iranzo *et. al.* (1994, 237-257).

– (1990a): «Postmodern? No, Simply Amodern! Steps Towards an Anthropology of Science», *Studies in History and Philosophy of Science*, 21, 145-171.

– (1990b): «The force and the reason of the experiment», en H.E. Le Grand (ed.), *ExperimentaI lnquiries*, Kluwer, Holanda, 49-80.

– (1992): *Ciencia en acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*, Labor, Barcelona.

– (1995): «¿Tienen historia los objetos? El encuentro de Pasteur y de Whitehead en un baño de ácido láctico», *Isegoría*, 12, 92-109.

– (1999a): «For David Bloor... and Beyond: a Replay to David Bloor's Anti-Latour», *Studies in History and Philosophy of Science*, 30, 113-129.

– (1999b): «Esas redes que la razón ignora: laboratorios, bibliotecas, colecciones», en José B. Monleón & Fernando José García Selgas (coord.), *Retos de la postmodernidad: ciencias sociales y humanas*, Trotta, Madrid, 161-183.

– (2000): «On the partial existence of existing *and* nonexisting objects», en Lorraine Daston (ed.), *Biographies of Scientific Objects*, Chicago UP, 247-269.

– (2001): *La esperanza de Pandora: ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*, Gedisa, Barcelona.

– (2003): «The promises of constructivism», en Don Ihde (ed.), *Chasing Technology: Matrix of Materiality*, Indiana University Press, 27-46.

Latour, Bruno & Woolgar, Steve (1995): *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*, Alianza, Madrid.

Laudan, Larry (1981): «A Confutation of Convergent Realism», *Philosophy of Science*, 48, 19-48.

– (1993): *La ciencia y el relativismo*, Alianza, Madrid.

Lawrence, Ernest O. (1951): «The evolution of the cyclotron» (*Nobel Lecture, December 11, 1951*), http://nobelprizes.org/nobel_prizes/laureates/physics/1951.

Lewis, Geraint F. (2016): «On the Relativity of Redshifts: Does Space Really "Expand"?», *Australian Physics*, 53(3), 95-101.

Livingston, Eric (1986): *The Ethnomethodological Foundations of Mathematics*, Routledge, Londres.

Livio, Mario (2011): «Lost in translation: Mystery of the missing text solved», *Nature*, 479, 171–173.
López-Corredoira, Martín (2014): «Non-standard Models and the Sociology of Cosmology», *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 46, 86-96.
– (2017): «Tests and Problems of the Standard Model in Cosmology», *Foundations of Physics*, 47, 711-768.
Lorenzo, Javier de (1992): *Kant y la Matemática*, Tecnos, Madrid.
– (1994): «El discurso matemático: ideograma y lenguaje natural», *Mathesis*, 10, 235-254.
– (1998): *La matemática: de sus fundamentos y crisis*, Tecnos, Madrid.
– (2000): *Filosofías de la matemática: fin de siglo XX*, Universidad de Valladolid, Valladolid.
– (2003): «Del Hacer matemático y sus filosofías», *Llull*, 26, 903-917.
– (2005a): «Del Hacer matemático, su historia y su plasmación educativa», *Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española*, 8/2, 397-417.
– (2005b): «Filosofías de la matemática: de fundamentaciones y construcciones», en *Estany* (2005, 19-44).
Lozano Leyva, Manuel (2007): *De Arquímedes a Einstein. Los diez experimentos más bellos de la física*, DeBols!llo, Barcelona.
Luminet, Jean Pierre (2011): «Editorial note to: Georges Lemaître, The beginning of the world from the point of view of quantum theory», *General Relativity and Gravitation*, 43, 2911-2928.
– (2013): «Editorial note to: Georges Lemaître, A homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae», *General Relativity and Gravitation*, 45, 1619-1633.
Lynch, Michael, Livingston, Eric & Garfinkel, Harold (1983): «Temporal Order in Laboratory Work», publicado originalmente en Karin D. Knorr-Cetina & Michael Mulkay (ed.), *Science Observed*, Sage, Londres, y recogido en Iranzo *et. al.* (1994, 163-185).
Llallena Rojo, Antonio M. (2017): *El Big Bang y el origen del Universo*, RBA, Barcelona.
Maddy, Penelope (1990): *Realism in mathematics*, Oxford UP.
– (1997): *Naturalism in mathematics*, Oxford UP.
Madrid Casado, Carlos M. (2004): «A vueltas con Kant y las Matemáticas», *El Basilisco*, 34, 73-80.
– (2005): «A vueltas con Ortega, la Física y Einstein», *Revista de Occidente*, 294, 5-20.
– (2006): «El Nuevo Experimentalismo en España: entre Gustavo Bueno e Ian Hacking», *Contrastes. Revista Internacional de Filosofía*, XI, 153-169.
– (2008a): «Filosofía de la Física. El cierre de la Mecánica Cuántica», *El Basilisco*, 39, 67–112.
– (2008b): «El Realismo Estructural a debate: Matemáticas, Ontología y Representación», *Revista de Filosofía*, 33/2, 49-66.
– (2009a): «Filosofía de las Matemáticas. El cierre de la Topología y la Teoría del Caos», *El Basilisco*, 41, 1-48.
– (2009b): «Cómo hacer ciencia con aparatos. Un enfoque materialista de la física cuántica», *Empiria*, 18, 147-170.

– (2009c): «Do mathematical models represent the World? The case of quantum mathematical models», en J. L. González Recio (ed.), *Philosophical Essays on Physics and Biology*, Hildesheim, Georg Olms Verlag, 67-90.
– (2010a): «Sr. Realista Estructural, tenemos un problema: La carga ontológica de las matemáticas», *Principia: An International Journal of Epistemology*, 14/2, 201-209.
– (2010b): «Poincaré: ciencia, matemáticas y realismo estructural», *Teorema*, XXIX/2, 163-170.
– (2010c): «La ciencia y el relativismo. Una apología materialista de la razón», en Jesús G. Maestro & Inger Enkvist (ed.), *Contra los mitos y sofismas de las "teorías literarias" posmodernas*, Academia del Hispanismo, Vigo, 441-458.
– (2011): *La mariposa y el tornado. Teoría del Caos y Cambio Climático*, RBA, Barcelona.
– (2012): *Laplace. La mecánica celeste*, RBA, Barcelona.
– (2013a): *Hilbert. Las bases de la matemática*, RBA, Barcelona.
– (2013b): «España y la Revolución Científica: estado de la cuestión de una polémica secular», *Circumscribere. International Journal for the History of Science*, 13, 1-28.
– (2014a): *Fisher. La inferencia estadística*, RBA, Barcelona.
– (2014b): «The Depiction of Science in the Paintings of the Museo del Prado. Science and Art in the Spanish Empire (16th – 18th Century)», *Almagest. International Journal for the History of Scientific Ideas*, 5/2, 102-124.
– (2015): «Estadística, eugenesia y fundamentalismo científico», *El Basilisco*, 45, 5-32.
– (2016a): «Científicos y periodistas filosofan en torno a las ondas gravitacionales», *El Catoblepas*, 169, 8.
– (2016b): «En la trinchera cultural. Transición, Guerra Fría y Filosofía de la Ciencia en España», *El Catoblepas*, 170, 8.
– (2016c): «La construcción "filosófica" de los estudios sociales de la ciencia», *Studia Iberica et Americana*, 3/3, 97-122.
– (2016d): «Cosmología y fundamentalismo científico», *El Basilisco*, 47, 13-22.
– (2018): *Brouwer. Un geómetra entre la topología y la filosofía*, RBA, Barcelona.
Mancosu, Paolo (ed.) (1998): *From Brouwer to Hilbert. The Debate on the Foundations of Mathematics in the 1920s*, Oxford UP.
Manin, Yu I. (1981): *Lo demostrable e indemostrable*, Mir, Moscú.
Martín Jiménez, Luis Carlos (2015a): «Filosofía de la técnica», lecciones impartidas en la Escuela de Filosofía de Oviedo, Fundación Gustavo Bueno, Abril de 2015, http://www.fgbueno.es/act/efo088.htm
– (2015b): «Técnicas humanas y analogías cósmicas», lección impartida en el Curso de Verano *Hombre y Cosmos* de la Universidad de La Rioja, Santo Domingo de la Calzada, Julio de 2015, https://www.youtube.com/watch?v=4_AW4038Qfs
– (2018): *Filosofía de la Técnica y de la Tecnología*, Pentalfa, Oviedo.
Mayo, Deborah G. (1994): «The New Experimentalism, Topical Hypotheses, and Learning from Error», *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. I, 270-279.

Merton, Robert K. (1984): *Ciencia, Tecnología y Sociedad en la Inglaterra del siglo XVII*, Alianza, Madrid.
Millikan, Robert A. (1924): «The electron and the light-quant from the experimental point of view» (*Nobel Lecture, May 23, 1924*), http://nobelprizes.org/nobel_prizes/laureates/physics/1924.
Mosterín, Jesús (2000): «Observation, Construction and Speculation in Cosmology», en E. Agazzi & M. Pauri (eds.), *The Reality of the Unobservable*, Kluwer AP, 219-229.
Navarro Crego, Miguel Ángel (2006): «Introducción a la gnoseología del materialismo filosófico: teoría del cierre categorial», *El Catoblepas*, 54, 13.
Netz, Reviel (1999): *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics. A Study in Cognitive History*, Cambridge UP.
Niiniluoto, Ilkka (1999): *Critical Scientific Realism*, Oxford UP.
Norton Wise, M. (1993): «Mediations: Enlightenment Balancing Acts, or the Technologies of Rationalism», en Paul Horwich (ed.), *World Changes. Thomas Kuhn and the Nature of Science*, MIT Press, 207-256.
– (2006): «Making Visible», *Isis*, 97, 75-82.
– (2016): «Agency», *Isis*, 107, 781-784.
Nóvikov, I. (1990): *Cómo explotó el Universo*, Mir, Moscú.
Ongay, Íñigo (2008): «Científicos y periodistas filosofan en Ginebra», *El Catoblepas*, 80, 11.
– (2011): «Gnoseología de las ciencias de la conducta: el cierre categorial de la Etología», *El Basilisco*, 42, 81-118.
– (2016): «La filosofía de Ernst Mach desde el materialismo filosófico», *El Basilisco*, 46, 39-49.
Ortega y Gasset, José (1979): *La idea de principio en Leibniz y la evolución de la teoría deductiva*, Revista de Occidente en Alianza, Madrid.
– (1982): *Meditación de la técnica y otros ensayos sobre ciencia y filosofía*, Revista de Occidente en Alianza, Madrid.
Parsons, Charles (1990): «The structuralist view of mathematical objects», *Synthese*, 84, 303–346.
Peirce, Charles Santiago (2007): *La lógica considerada como semiótica*, Biblioteca Nueva, Madrid.
Penrose, Roger (2006): *La nueva mente del Emperador*, De Bolsillo, Barcelona.
Pérez Álvarez, Marino (2011): *El mito del cerebro creador: Cuerpo, conducta y cultura*, Alianza, Madrid.
Pérez Jara, Javier (2009): «Reseña de Fernández & Montesinos (2007)», *Empiria*, 18, 217-220.
– (2016): «Principios y problemas abiertos del materialismo discontinuista», *Studia Iberica et Americana*, 3, 165-189.
Pérez Herranz, Fernando M. (2001): «Lógica y Topología: El problema del asno de Buridán», *El Basilisco*, 29, 51-58.
Pickering, Andrew (1982): «Elementary Particles: Discovered or Constructed?», en W. P. Trower & G. Bellini (eds.), *Physics in Collision: High-Energy ee/ep/pp Interactions*, Nueva York, Plenum, 439-48.
– (1984): *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*, Chicago UP.
– (1989): «Living in the Material World: On Realism and Experimental Practice», en D. Gooding, T. Pinch y S. Shaffer (eds.), *The Uses of Experiment*, Cambridge UP, 275-297.

– (1992): «From Science as Knowledge to Science as Practice», en A. Pickering (ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago UP, 1-26.
– (1995): *The Mangle of Practice: Time, Agency and Science*, Chicago UP.
Poincaré, Henri (2002): *Ciencia e Hipótesis*, Espasa-Calpe, Madrid.
Popper, Karl R. (1962): *La lógica de la investigación científica*, Tecnos, Madrid.
– (1983): *Conjeturas y Refutaciones*, Paidós, Barcelona.
– (2002): *Búsqueda sin término. Una autobiografía intelectual*, Alianza, Madrid.
Psillos, Stathis (1995): «Is structural realism the best of both worlds?», *Dialectica*, 49, 15-46.
– (1999): *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*, Routledge, Londres.
Putnam, Hilary (1979): *Mathematics, Matter and Method*, Cambridge UP.
– (1981): *Reason, Truth and History*, Cambridge UP.
– (1987): *The Many Faces of Realism*, Open Court, La Salle.
– (1992): *Renewing Philosophy*, Harvard UP.
Quine, Willard Van Orman (2002): *Desde un punto de vista lógico*, Paidós, Barcelona.
Reeves, Hubert (1996): *Últimas noticas del cosmos. Hacia el primer segundo*, Alianza, Madrid.
Resnik, Michael (1997): *Mathematics as a Science of Patterns*, Oxford UP.
Rioja, Ana (1989): «Einstein: el ideal de una ciencia sin sujeto», *Revista de Filosofía*, II, 87-108.
– (2009): «The Social Studies of Scientific Knowledge and the Reflexive Argument», en Luis Fernández Moreno (ed.), *Languaje, Nature and Science: New Perspectives*, Plaza y Valdés, Madrid, 9-32.
Rioja, Ana & Ordóñez, Javier (2006): *Teorías del Universo. Volumen III: De Newton a Hubble*, Síntesis, Madrid.
Rivadulla, Andrés (1986): *Filosofía actual de la ciencia*, Tecnos, Madrid.
– (2003): *Revoluciones en Física*, Trotta, Madrid.
– (2004a): *Éxito, razón y cambio en física. Un enfoque instrumental en teoría de la ciencia*, Trotta, Madrid.
– (2004b): «La filosofía de la ciencia hoy. Problemas y posiciones», en Juan M. Navarro Cordón (coord.), *Perspectivas del pensamiento contemporáneo*, Volumen II, Síntesis, Madrid, 109-163.
– (2004c): «The Newtonian Limit of Relativity Theory and the Rationality of Theory of Change», *Synthese*, 141, 417-429.
– (2010): «Two Dogmas of Structural Realism. A Confirmation of a Philosophical Death Foretold», *Crítica*, 124, 3-29.
– (2015): *Meta, método y mito en ciencia*, Trotta, Madrid.
Rodríguez, Víctor (2005): «Aspectos epistemológicos de la cosmología contemporánea», en Estany (2005, 105-128).
Rorty, Richard (1991): *Objectivity, Relativism, and Truth. Philosophical Papers I*, Cambridge UP.
– (1998): *Truth and Progress. Philosophical Papers III*, Cambridge UP.
– (2010): *La filosofía y el espejo de la naturaleza*, Cátedra, Madrid.
Rossi, Paolo (1990): *Las arañas y las hormigas. Una apología de la historia de la ciencia*, Crítica, Barcelona.
Ruska, Ernst (1986): «The development of the electron microcope and of electron microscopy» (*Nobel Lecture, December 8, 1986*), http://nobelprizes.org/nobel_prizes/laureates/physics/1986.

Russell, Bertrand (1976): *La evolución de mi pensamiento filosófico*, Alianza, Madrid.
Rutherford, Ernest (1908): «The Chemical Nature of the Alpha Particles from Radioactive Substances» (*Nobel Lecture, December 11, 1908*), http://nobelprizes.org/nobel_prizes/laureates/chemistry/1908.
Sánchez Ron, José Manuel (2007): *El poder de la ciencia*, Crítica, Barcelona.
– (2014): *El mundo después de la revolución. La física de la segunda mitad del siglo XX*, Pasado & Presente, Barcelona.
Savater, Fernando (1999): *Las preguntas de la vida*, Ariel, Barcelona.
Schlick, Moritz (1965): «Sobre el fundamento del conocimiento», en *El positivismo lógico*, FCE, México.
– (2002): *Filosofía de la Naturaleza*, Encuentro, Madrid.
Shapere, Dudley (1984): *Reason and the Search for Knowledge*, Reidel, Dordrecht.
– (1993): «Astronomy and Antirealism», *Philosophy of Science*, 60, 134-150.
Shapin, Steven & Schaffer, Simon (1985): *Leviathan and the Air Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life*, Princeton UP.
Shapiro, Stewart (1997): *Philosophy of Mathematics: Structure and Ontology*, Oxford UP.
Smeenk, Chris (2013): «Philosophy of Cosmology», en R. Batterman (ed.), *Oxford Handbook of Philosophy of Physics*, Oxford UP, 607-652.
Smeenk, Chris & Ellis, George (2017): «Philosophy of Cosmology», *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/cosmology/>.
Smolin, Lee (2007): *Las dudas de la física en el siglo XXI*, Crítica, Barcelona.
Smolin, Lee & Mangabeira, Roberto (2015): *The Singular Universe and the Reality of Time. A Proposal in Natural Philosophy*, Cambridge UP.
Sokal, Alan & Bricmont, Jean (1999): *Imposturas intelectuales*, Paidós, Barcelona.
Soler Gil, Francisco José (2016): *El universo a debate. Una introducción a la filosofía de la cosmología*, Biblioteca Nueva, Madrid.
Solís, Carlos (2004): «Una revolución del siglo XX», prólogo a Thomas S. Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México.
Solís, Carlos & Sellés, Manuel (2013): *Historia de la Ciencia*, Espasa, Madrid.
Stenico, Mauro (2013): *Cosmologia e ideologia: la teoría dell'espansione dell'Universo nello spazio pubblico (1922-1992)*, Tesis Doctoral, Universitá degli Studi di Trento.
Stewart, Ian (2017): *Las matemáticas del Cosmos*, Crítica, Barcelona.
Suárez Aller, M. (2003): «Hacking Kuhn», *Revista de Filosofía*, 28/2, 261-284.
– (2008): «Experimental Realism Defended: How Inference to the Most Likely Cause Might Be Sound», en *Nancy Cartwright's Philosophy of Science*, Routledge, Londres.
Suárez Ardura, Marcelino (2014): «¿Qué es la Geografía? Consideraciones gnoseológicas generales sobre la Geografía», *El Basilisco*, 43, 3-50.
Susskind, Leonard (2007): *El paisaje cósmico*, Crítica, Barcelona.
Tegmark, Max (2003): «Parallel Universes», *Scientific American*, Mayo de 2003, 41-51.
Thom, René (1985): *Parábolas y Catástrofes*, Tusquets, Barcelona.
Toulmin, Stephen (1964): *La filosofía de la ciencia*, Mirasol, Buenos Aires.
Van Heijenoort, Jean (1967): *From Frege to Gödel: A Source Book in Mathematical Logic, 1879-1931*, Harvard UP.

Van Lunteren, Frans (2016): «Clocks to Computers: A Machine-Based 'Big Picture' of the History of Modern Science», *Isis*, 107, 762-776.
Van Fraassen, Bas C. (1980): *The Scientific Image*, Clarendon Press, Oxford.
– (1996): *La imagen científica*, Paidós, Barcelona.
– (2002): *The Empirical Stance*, Yale University Press, New Haven.
– (2006): «Representation: The Problem for Structuralism», *Philosophy of Science*, 73, 536-547.
– (2007): «Structuralism(s) about Science: Some Common Problems», *Proceedings of the Aristotelian Society,* LXXXI, 45-61.
Velarde, Julián (1982): *Lógica formal*, Pentalfa, Oviedo.
– (1992) «Teoría del *cierre categorial* aplicado a las matemáticas», *Revista Meta*, 105-126.
Vélez, Iván (2012): *Agua, máquinas y hombres en la España preindustrial*, Pentalfa, Oviedo.
Vicente Burguillo, Sergio (2015): «Didáctica de las matemáticas desde un enfoque materialista (I y II)», *El Catoblepas*, 161 y 162, 1 y 9.
Vico, Giambattista (1995): *Ciencia Nueva*, Tecnos, Madrid.
Vilenkin, Alex (2009): *Muchos mundos en uno*, Alba, España.
Von Neumann, John (1931): «The formalist foundations of mathematics», recogido en Benacerraf & Putnam (1964, 50-54).
Walton, Ernest T. S. (1951): «The artificial production of fast particles» (*Nobel Lecture, December 11, 1951*), http://nobelprizes.org/nobel_prizes/laureates/physics/1951.
Weinberg, Steven (1996): *Los tres primeros minutos del Universo*, Alianza, Madrid.
Weyl, Hermann (1921): «On the New Foundational Crisis of Mathematics», recogido en Mancosu (1998, 86-118).
Wigner, Eugene P. (1960): «The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences», *Communications on pure and applied mathematics*, XIII, 1-14.
Wilson, Charles T. R. (1927): «On the cloud method of making visible ions and the tracks of ionizing particles» (*Nobel Lecture, December 12, 1927*), http://nobelprizes.org/nobel_prizes/laureates/physics/1927.
Woolgar, Steve (1990): *Ciencia: abriendo la caja negra*, Anthropos, Barcelona.
Worrall, John (1989): «Structural Realism: The Best of Both Worlds?», *Dialectica*, 43, 99-124.
– (1994): «How to Remain (Reasonably) Optimistic: Scientific Realism and the "Luminiferous Ether"», en D. Hull, M. Forbes & R. M. Burian (eds.), *PSA 1994 Vol. 1*, Philosophy of Science Association, East Lansing, 334-342.
Ynduráin, Francisco J. (2007): «Perspectivas para la física de partículas en el siglo XXI», *Revista de Occidente*, 319, 23-45.
Zinkernagel, Henrik (2002): «Cosmology, Particles, and the Unity of Science», *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 33, 493-516.
– (2011): «Some trends in the philosophy of physics», *Theoria*, 26/2, 215-241.

Créditos de las figuras: 3 (A. Dunn), 4 (M. Palacios), 6 (P. Hernández), 11 (Stenico: 2013, 511), 12i (Drbogdan).

Índice

Preámbulo. *Ciencia y Cosmos* 9

Parte I. *Del estrato científico al estrato filosófico* 13

Capítulo 1. *Filosofía(s) de la Ciencia* 15

Capítulo 2. *Una clasificación de filosofías de la física y de las matemáticas* 19

Capítulo 3. *Adecuacionismo: pintores y monos platónicos* 27
- 3.1 Platonismo y Logicismo 27
- 3.2 De Galileo y Einstein al realismo estructural 32

Capítulo 4. *Descripcionismo: recolectores y hormigas positivistas* 45
- 4.1 Formalismo 46
- 4.2 Del Círculo de Viena a Van Fraassen 47

Capítulo 5. *Teoreticismo: pescadores y arañas popperianas* 51
- 5.1 Intuicionismo 52
- 5.2 Del falsacionismo al giro historicista y sociológico 54

Capítulo 6. *Materialismo formalista* 77

Capítulo 7. *Gnoseología analítica de las matemáticas* 95

Capítulo 8. *Gnoseología sintética de las matemáticas* 103

Capítulo 9. *El cierre de las matemáticas* 107

Capítulo 10. *A vueltas con la milagrosa efectividad de las matemáticas* 119

Capítulo 11. *Kant y los «extraterrestres» de Hollywood* 133

Capítulo 12. *Circularismo: arquitectos y abejas materialistas* 141
12.1 De la academia al laboratorio, pasando por el taller 146
12.2 Excursus por la antropología de laboratorio 164
12.3 Nuevo rumbo en filosofía de la física 184
Capítulo 13. *Gnoseología analítica de la física* 187
Capítulo 14. *Gnoseología sintética de la física* 195
Capítulo 15. *El cierre de la física* 201
Capítulo 16. *Revoluciones y contrarrevoluciones en física* 215
Capítulo 17. *La construcción «hiperrealista» del mundo* 231
Entreacto. *Crónica de un debate inconcluso* 263
Parte II. *Del estrato filosófico al estrato científico* 265
Capítulo 18. *Filosofía(s) de la Cosmología* 267
Capítulo 19. *Breve historia de la cosmología: de Laplace a Einstein y el Big Bang* 271
Capítulo 20. *Problemas científicos abiertos* 311
Capítulo 21. *Problemas filosóficos abiertos* 323
21.1 La capa básica de la cosmología 325
21.2 La capa metodológica de la cosmología 334
Capítulo 22. *A vueltas con el principio antrópico* 345
Capítulo 23. *El mito del Cosmos* 357
Capítulo 24. *El fundamentalismo científico* 367
Conclusión. *La vuelta del revés del mapamundi* 373
Referencias bibliográficas 379